

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



Ação do Vento em Desfiladeiros Urbanos

João Manuel Henriques dos Santos

Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

Dissertação orientada por:
Professor Doutor Fernando Marques da Silva

2016

Resumo

A presente dissertação tem como principal objetivo o estudo da ação do vento nos desfiladeiros urbanos, especialmente com vista à ventilação natural.

Desta forma criou-se um modelo, de forma a simular em túnel de vento várias configurações de desfiladeiros urbanos, capaz de criar uma base de dados robusta de coeficientes de pressão para uma zona edificada. Utilizaram-se parâmetros adimensionais que relacionam a altura, comprimento e largura do edifício, bem como o espaçamento existente entre edifícios, para caracterizar os desfiladeiros urbanos.

Após o tratamento e análise dos resultados obtidos pretende-se criar uma base de dados capaz de ser utilizada por qualquer utilizador e seguir a metodologia da norma portuguesa NP EN 1991-1-4/2007 - Ações em estruturas, que presentemente apenas inclui resultados para um edifício isolado e com uma incidência de vento de 0°. A nova base de dados permitirá a leitura dos coeficientes de pressão, bem como conseguir compará-los entre desfiladeiros urbanos.

Verificou-se ao longo dos ensaios que com o aumento do espaçamento entre edifícios, as distribuições de pressão se aproximam cada vez mais de edifício isolado, principalmente quando a área da superfície exposta ao vento é menor. Por outro lado, dando foco ao parâmetro adimensional que relaciona o comprimento e a altura, foi possível observar que para desfiladeiros com edifícios de menor comprimento a distribuição de coeficientes de pressão apresenta uma maior gama de valores, em módulo, tanto para a fachada a barlavento (mais positivos), como para a cobertura e laterais (mais negativos). À medida que esta relação aumenta, e o comprimento aumenta em relação à altura, observa-se uma maior estabilidade nos resultados obtidos, sendo possível ver uma tendência para um determinado valor para quase todas as evoluções obtidas.

A utilização da metodologia de divisão de fachadas existente na norma, complementada com a criação de mais detalhe na fachada a barlavento, revelou-se ser correta dando total conhecimento sobre os coeficientes de pressão para as fachadas em análise e permitindo a comparação entre ensaios.

Palavras-Chave: Coeficiente de Pressão; Modelo de Desfiladeiro Urbano; NP EN 1991-1-4/2007; Ventilação Natural

Abstract

The present dissertation has as its main goal the study of wind's action in street canyons, especially concerning natural ventilation.

Therefore, a model was created in order to simulate in a wind tunnel various street canyon configurations that are able to create a robust database with pressure coefficients in a built area. Adimensional parameters that relate dimensions such as height, length and width of a building were used as well as spacing between buildings to characterize the street canyons.

After the results treatment and analysis it's intended to create a database capable of being utilized by any user following the NP EN 1991-1-4/2007 – Actions in structures standard methodology, that presently just includes results for an isolated building under a wind incidence of 0°. The new database will allow the reading of pressure coefficients, as well as the ability to compare them between different street canyons.

It comes out that with larger spacing between buildings pressure distributions goes toward the ones in isolated buildings, mainly when the windward surface's area is smaller. On the other hand, focusing on the adimensional parameter that relates length and height it was possible to observe that for small canyons the distribution of pressure coefficients presents a broader scale range, in module, both for the windward façade (more positive) and for the cover and sides (more negative). As this relation grows and the length rises in relation to height results show more stable values and a tendency to a certain value for almost every evolution obtained can be observed.

The use of façade splitting methodology present in the standard complemented with a more detailed division of the windward façade revealed to be correct giving total knowledge about the pressure coefficient for the analysed façades allowing a comparison between the different experiments made.

Keywords: Pressure Coefficients; Street Canyon model; NP EN 1991-1-4/2007; Natural Ventilation

Índice

Capítulo 1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento Geral.....	1
1.1.1. Ventilação Natural.....	2
1.1.2. Desfiladeiros urbanos	6
1.2. Objetivos	8
1.3. Estrutura da dissertação.....	9
Capítulo 2. Modelo do Desfiladeiro Urbano.....	11
2.1. Edifícios	11
2.1.1. Edifício de referência	11
2.1.2. Edifícios Adjacentes.....	15
2.2. Orientações.....	16
Capítulo 3. Metodologia.....	19
3.1. Obtenção de dados: Ensaio em Túnel de Vento	19
3.1.1. Equipamento utilizado e preparação dos ensaios	19
3.2. Tratamento de dados: Coeficiente de Pressão	20
3.2.1. Interpolação	20
3.2.2. Metodologia de Determinação dos Coeficientes de Pressão Segundo a NP EN 1991-1-4/2007 - Ações em estruturas	21
Capítulo 4. Análise e Discussão de Resultados.....	27
Capítulo 5. Conclusão	41
Referências	43
Anexo A. Coordenadas das Tomadas de Pressão	45
Anexo B. Configurações do Desfiladeiro Urbano	49
Anexo C. Distribuição dos Coeficientes de Pressão nos Desfiladeiros Urbanos.....	51
Anexo D. Valores Médios de Coeficientes de Pressão segundo a norma NP EN 1991-1-4/2007 - Ações em estruturas.....	76

Índice de Figuras

Figura 1-1: Representação exemplificativa da variação da temperatura sobre centros urbanos (Fonte: adaptado [16])	4
Figura 1-2: Camadas Limite Atmosférica (Fonte: adaptado [20])	5
Figura 1-3: Exemplo de distribuição de coeficientes de pressão na fachada de um edifício (Fonte: [22])	6
Figura 1-4: Desfiladeiro urbano exemplificativo localizado na zona baixa da cidade de Lisboa ...	7
Figura 1-5: Regimes do escoamento nos desfiladeiros urbanos (Fonte: adaptado [19])	8
Figura 2-1: Modelo do Desfiladeiro Urbano	11
Figura 2-2: Edifício central em acrílico.....	11
Figura 2-3: Variação da altura dos edifícios no modelo.....	12
Figura 2-4: Variação do comprimento dos edifícios no modelo	13
Figura 2-5: Configurações do edifício central.....	13
Figura 2-6: Configuração das fachadas do bloco	14
Figura 2-7: Localização das tomadas de pressão no bloco-topo do edifício de referência (A-4)..	15
Figura 2-8: Extrapolação das tomadas de pressão no bloco-topo do edifício de referência.....	17
Figura 3-1: Túnel de vento	19
Figura 3-2: Planta-tipo do edifício (Fonte: adaptado [29]).....	21
Figura 3-3: Divisão da fachada lateral quando $e < d$ (Fonte: adaptado [29])	22
Figura 3-4: Divisão da fachada lateral quando $d \leq e < 5d$ (Fonte: adaptado [29]).....	22
Figura 3-5: Divisão da fachada lateral quando $e \geq 5d$ (Fonte: adaptado [29])	23
Figura 3-6: Divisão da cobertura (Fonte: adaptado [29])	24
Figura 3-7: Divisão da fachada a barlavento	24
Figura 3-8: Disposição das fachadas do edifício dependendo da incidência do vento.....	25
Figura 4-1: Distribuição dos coeficientes de pressão no ensaio de referência com altura e comprimento mínimos e incidência de vento de 0°	27
Figura 4-2: Distribuição dos coeficientes de pressão para o edifício de referência com altura e comprimento mínimos e incidência de vento de 0° com relação entre a altura e o afastamento de 0.75.....	28
Figura 4-3: Distribuição dos coeficientes de pressão para o edifício de referência com altura e comprimento mínimos e incidência de vento de 0° com relação entre a altura e o afastamento de 2.....	28
Figura 4-4: Valores médios dos coeficientes de pressão segundo a adaptação da NP EN 1991-1-4/2007 - Ações em estruturas, para o ensaio de referência com incidência do vento de 0° para uma altura e comprimento mínimo.....	29
Figura 4-5: Valores médios dos coeficientes de pressão segundo a adaptação da NP EN 1991-1-4/2007 - Ações em estruturas, para o ensaio de referência com incidência do vento de 60° para uma altura e comprimento mínimo.....	30
Figura 4-6: Variação média dos coeficientes de pressão com o afastamento entre edifícios para a fachada a barlavento.	31

Figura 4-7: Esquema representativo do modelo de desfiladeiro urbano com a localização das secções A3, B3 e C3 para as orientações 0°, 30° e 45°.....	31
Figura 4-8: Variação média dos coeficientes de pressão com o afastamento entre edifícios para as fachadas laterais para as orientações 30° e 60°.	32
Figura 4-9: Variação média dos coeficientes de pressão com o afastamento entre edifícios para a cobertura para a orientação de 45°.....	33
Figura 4-10: Secções criadas para Barlavento. (A)-Secções verticais. (B)-Secções Horizontais.	33
Figura 4-11: Variação média dos coeficientes de pressão com a relação entre a altura e a largura dos edifícios para a fachada a barlavento.	34
Figura 4-12: Distribuição dos coeficientes de pressão para uma configuração com o comprimento e altura máxima para uma orientação de 45° para a fachada a barlavento fazendo variar o afastamento entre os edifícios.	34
Figura 4-13: Variação média dos coeficientes de pressão com a relação entre o comprimento e a altura dos edifícios para os ensaios de referência com orientação de 0°.....	35
Figura 4-14: Variação média dos coeficientes de pressão com a relação entre o comprimento e a altura dos edifícios para a fachada a barlavento com orientação de 30°, 45°, 60° e 90°	36
Figura 4-15: Variação média dos coeficientes de pressão com a relação entre o comprimento e a altura dos edifícios para a cobertura com orientação de 30°, 45°, 60° e 90°	37
Figura 4-16: Secções da superfície 1 selecionadas para a avaliação do impacto da variação da incidência do vento.....	38
Figura 4-17: Variação dos coeficientes de pressão com a orientação para a primeira secção.	38
Figura 4-18: Variação dos coeficientes de pressão com a orientação para a segunda secção.	39
Figura 4-19: Variação dos coeficientes de pressão com a orientação para a terceira secção.	39
Figura C-1: Ensaio de Referência com H=5cm, L=25cm e 40°	51
Figura C-2: Ensaio de Referência com H=5cm, L=25cm e 430°.....	51
Figura C-3: Ensaio de Referência com H=5cm, L=25cm e 445°.....	51
Figura C-4: Ensaio de Referência com H=5cm, L=25cm e 460°.....	51
Figura C-5: Ensaio de Referência com H=5cm, L=25cm e 490°.....	52
Figura C-6: Ensaio com H/W=0.75, H=5cm, L=25cm e 40°	52
Figura C-7: Ensaio com H/W=0.75, H=5cm, L=25cm e 430°.....	52
Figura C-8: Ensaio com H/W=0.75, H=5cm, L=25cm e 445°.....	52
Figura C-9: Ensaio com H/W=0.75, H=5cm, L=25cm e 460°.....	53
Figura C-10: Ensaio com H/W=0.75, H=5cm, L=25cm e 490°.....	53
Figura C-11: Ensaio com H/W=1, H=5cm, L=25cm e 40°	53
Figura C-12: Ensaio com H/W=1, H=5cm, L=25cm e 430°.....	53
Figura C-13: Ensaio com H/W=1, H=5cm, L=25cm e 445°.....	54
Figura C-14: Ensaio com H/W=1, H=5cm, L=25cm e 460°.....	54
Figura C-15: Ensaio com H/W=1, H=5cm, L=25cm e 490°.....	54
Figura C-16: Ensaio com H/W=1.5, H=5cm, L=25cm e 40°	54
Figura C-17: Ensaio com H/W=1.5, H=5cm, L=25cm e 430°.....	55

Figura C-18: Ensaio com $H/W=1.5$, $H=5\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 45^\circ$	55
Figura C-19: Ensaio com $H/W=1.5$, $H=5\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 60^\circ$	55
Figura C-20: Ensaio com $H/W=1.5$, $H=5\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 90^\circ$	55
Figura C-21: Ensaio com $H/W=2$, $H=5\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 0^\circ$	56
Figura C-22: Ensaio com $H/W=2$, $H=5\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 30^\circ$	56
Figura C-23: Ensaio com $H/W=2$, $H=5\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 45^\circ$	56
Figura C-24: Ensaio com $H/W=2$, $H=5\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 60^\circ$	56
Figura C-25: Ensaio com $H/W=2$, $H=5\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 90^\circ$	57
Figura C-26: Ensaio com $H/W=1$, $H=10\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 0^\circ$	57
Figura C-27: Ensaio com $H/W=1$, $H=10\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 30^\circ$	57
Figura C-28: Ensaio com $H/W=1$, $H=10\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 45^\circ$	57
Figura C-29: Ensaio com $H/W=1$, $H=10\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 60^\circ$	58
Figura C-30: Ensaio com $H/W=1$, $H=10\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 90^\circ$	58
Figura C-31: Ensaio de Referência, $H=10\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 0^\circ$	58
Figura C-32: Ensaio de Referência, $H=10\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 30^\circ$	58
Figura C-33: Ensaio de Referência, $H=10\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 45^\circ$	59
Figura C-34: Ensaio de Referência, $H=10\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 60^\circ$	59
Figura C-35: Ensaio de Referência, $H=10\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 90^\circ$	59
Figura C-36: Ensaio com $H/W=0.75$, $H=10\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 0^\circ$	59
Figura C-37: Ensaio com $H/W=0.75$, $H=10\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 30^\circ$	60
Figura C-38: Ensaio com $H/W=0.75$, $H=10\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 45^\circ$	60
Figura C-39: Ensaio com $H/W=0.75$, $H=10\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 60^\circ$	60
Figura C-40: Ensaio com $H/W=0.75$, $H=10\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 90^\circ$	60
Figura C-41: Ensaio com $H/W=2$, $H=10\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 0^\circ$	61
Figura C-42: Ensaio com $H/W=2$, $H=10\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 30^\circ$	61
Figura C-43: Ensaio com $H/W=2$, $H=10\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 45^\circ$	61
Figura C-44: Ensaio com $H/W=0.75$, $H=5\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 60^\circ$	61
Figura C-45: Ensaio com $H/W=2$, $H=10\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 90^\circ$	62
Figura C-46: Ensaio com $H/W=1.5$, $H=10\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 0^\circ$	62
Figura C-47: Ensaio com $H/W=1.5$, $H=10\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 30^\circ$	62
Figura C-48: Ensaio com $H/W=1.5$, $H=10\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 45^\circ$	62
Figura C-49: Ensaio com $H/W=1.5$, $H=10\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 60^\circ$	63
Figura C-50: Ensaio com $H/W=1.5$, $H=10\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 90^\circ$	63
Figura C-51: Ensaio com $H/W=1$, $H=15\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 0^\circ$	63
Figura C-52: Ensaio com $H/W=1$, $H=15\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 30^\circ$	63
Figura C-53: Ensaio com $H/W=1$, $H=15\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 45^\circ$	64
Figura C-54: Ensaio com $H/W=1$, $H=15\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 60^\circ$	64

Figura C-55: Ensaio com $H/W=1$, $H=15\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 90^\circ$	64
Figura C-56: Ensaio com $H/W=1.5$, $H=15\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 0^\circ$	64
Figura C-57: Ensaio com $H/W=1.5$, $H=15\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 30^\circ$	65
Figura C-58: Ensaio com $H/W=1.5$, $H=15\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 45^\circ$	65
Figura C-59: Ensaio com $H/W=1.5$, $H=15\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 60^\circ$	65
Figura C-60: Ensaio com $H/W=1.5$, $H=15\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 90^\circ$	65
Figura C-61: Ensaio de Referência, $H=15\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 0^\circ$	66
Figura C-62: Ensaio de Referência, $H=15\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 30^\circ$	66
Figura C-63: Ensaio de Referência, $H=15\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 45^\circ$	66
Figura C-64: Ensaio de Referência, $H=15\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 60^\circ$	66
Figura C-65: Ensaio de Referência, $H=15\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 90^\circ$	67
Figura C-66: Ensaio com $H/W=0.75$, $H=15\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 0^\circ$	67
Figura C-67: Ensaio com $H/W=0.75$, $H=15\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 30^\circ$	67
Figura C-68: Ensaio com $H/W=0.75$, $H=15\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 45^\circ$	67
Figura C-69: Ensaio com $H/W=0.75$, $H=15\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 60^\circ$	68
Figura C-70: Ensaio com $H/W=0.75$, $H=15\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 90^\circ$	68
Figura C-71: Ensaio com $H/W=2$, $H=15\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 0^\circ$	68
Figura C-72: Ensaio com $H/W=2$, $H=15\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 30^\circ$	68
Figura C-73: Ensaio com $H/W=2$, $H=15\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 45^\circ$	69
Figura C-74: Ensaio com $H/W=2$, $H=15\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 60^\circ$	69
Figura C-75: Ensaio com $H/W=2$, $H=15\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 90^\circ$	69
Figura C-76: Ensaio com $H/W=1.5$, $H=15\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 0^\circ$	69
Figura C-77: Ensaio com $H/W=1.5$, $H=15\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 30^\circ$	70
Figura C-78: Ensaio com $H/W=1.5$, $H=15\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 45^\circ$	70
Figura C-79: Ensaio com $H/W=1.5$, $H=15\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 60^\circ$	70
Figura C-80: Ensaio com $H/W=1.5$, $H=15\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 90^\circ$	70
Figura C-81: Ensaio de Referência, $H=20\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 0^\circ$	71
Figura C-82: Ensaio de Referência, $H=20\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 30^\circ$	71
Figura C-83: Ensaio de Referência, $H=20\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 45^\circ$	71
Figura C-84: Ensaio de Referência, $H=20\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 60^\circ$	71
Figura C-85: Ensaio de Referência, $H=20\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 90^\circ$	72
Figura C-86: Ensaio com $H/W=2$, $H=20\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 0^\circ$	72
Figura C-87: Ensaio com $H/W=2$, $H=20\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 30^\circ$	72
Figura C-88: Ensaio com $H/W=2$, $H=20\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 45^\circ$	72
Figura C-89: Ensaio com $H/W=2$, $H=20\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 60^\circ$	73
Figura C-90: Ensaio com $H/W=2$, $H=20\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 90^\circ$	73
Figura C-91: Ensaio com $H/W=1$, $H=20\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 0^\circ$	73

Figura C-92: Ensaio com $H/W=1$, $H=20\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 30^\circ$	73
Figura C-93: Ensaio com $H/W=1$, $H=20\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 45^\circ$	74
Figura C-94: Ensaio com $H/W=1$, $H=20\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 60^\circ$	74
Figura C-95: Ensaio com $H/W=1$, $H=20\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 90^\circ$	74
Figura C-96: Ensaio com $H/W=0.75$, $H=20\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 0^\circ$	74
Figura C-97: Ensaio com $H/W=0.75$, $H=20\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 30^\circ$	75
Figura C-98: Ensaio com $H/W=0.75$, $H=20\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 45^\circ$	75
Figura C-99: Ensaio com $H/W=0.75$, $H=20\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 60^\circ$	75
Figura C-100: Ensaio com $H/W=0.75$, $H=20\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 90^\circ$	75

Índice de Tabelas

Tabela 2-1: Relações consideradas entre o afastamento dos edifícios e a sua altura	16
Tabela 3-1: Dimensão das secções da fachada lateral quando $e < d$	22
Tabela 3-2: Dimensão das secções da fachada lateral quando $d \leq e < 5e$	22
Tabela 3-3: Dimensão das secções da cobertura	23
Tabela 3-4: Dimensão das secções da fachada a barlavento	24
Tabela 3-5: Valores de e na fachada lateral com direcção do vento de 0° , 30° e 45°	25
Tabela 3-6: Valores de e na fachada lateral com direcção do vento de 60° e 90°	26
Tabela A-1: Coordenadas das tomadas de pressão no edifício de referência	45
Tabela B-1: Dimensões dos edifícios para os ensaios efetuados	49
Tabela D-1: Média dos Coeficientes de Pressão para os ensaios com direcção do vento de 0°	76
Tabela D-2: Média dos Coeficientes de Pressão para os ensaios com direcção do vento de 30°	78
Tabela D-3: Média dos Coeficientes de Pressão para os ensaios com direcção do vento de 45°	80
Tabela D-4: Média dos Coeficientes de Pressão para os ensaios com direcção do vento de 60°	83
Tabela D-5: Média dos Coeficientes de Pressão para os ensaios com direcção do vento de 90°	85

Acrónimos

CLA	Camada Limite Atmosférica
CLU	Camada Limite Urbana
Cp	Coeficientes de Pressão
IDAD	Instituto do Ambiente e Desenvolvimento
QAI	Qualidade do Ar Ambiente Interior
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
RECS	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços
REH	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação
RPH	Renovações por hora
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios
SCE	Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios

Simbologia e Notações

g	Aceleração gravítica, $[m/s^2]$
γ	Altura acima do ponto de referência, $[m]$
μ	Altura adimensionalizada $[-]$
H	Altura do edifício, $[m]$
C_p	Coeficiente de pressão, $[-]$
c_0	Coeficiente específico da função RBF
c_1	Coeficiente específico da função RBF
λ_i	Coeficiente específico da função RBF
α	Comprimento adimensionalizado, $[-]$
C	Comprimento do edifício, $[m]$
b	Comprimento da fachada a barlavento, $[m]$
d	Comprimento da fachada lateral, $[m]$
β	Largura adimensionalizada, $[-]$
L	Largura do edifício, $[m]$
ρ_{ar}	Massa volúmica do ar interior ou exterior, $[kg/m^3]$
x_i	Posição das tomadas de pressão, $[m]$
P_s	Pressão estática, $[Pa]$
P_i	Pressão estática local, $[Pa]$
P_∞	Pressão estática de referência, pressão atmosférica, $[Pa]$
P_w	Pressão exterior causada pelo vento, $[Pa]$
P_r	Pressão no ponto de referência, $[Pa]$
r	Raio, $[m]$
e	Variável definida a partir das dimensões do edifício segundo a NP EN 1991-1-4/2007, $[m]$
U	Velocidade do vento, $[m/s]$

U_{ref} Velocidade do vento não perturbada pelo edifício a uma altura de referência, normalmente referida à cota da cobertura, $[m/s]$;

Capítulo 1. Introdução

1.1. Enquadramento Geral

A temática da qualidade do ar e o seu impacto na saúde pública tem sido cada vez mais abordada e estudada quer a nível exterior como também a nível interior. Presentemente, a qualidade do ar ambiente interior (QAI) tem sido alvo de preocupação uma vez que a sociedade atual passa um maior período de tempo em ambientes interiores quer seja, por exemplo, durante o dia nos seus locais de trabalho ou durante a noite nas respetivas habitações.

No interior dos edifícios os materiais de construção, de revestimento e de mobiliário, a utilização de produtos de limpeza e a ocupação humana são alguns dos contributos para que o número de poluentes e a sua concentração sejam superiores às de referência [1].

A 16 de dezembro de 2002 o Parlamento Europeu e o Conselho da União Europeia publicaram a Diretiva n.º 2002/91/CE que tinha como objetivo a promoção da melhoria do desempenho energético dos edifícios dos Estados-Membros. A diretiva estabeleceu uma metodologia de cálculo do desempenho energético dos edifícios e requisitos mínimos distintos para edifícios novos e edifícios já existentes que sofressem grandes alterações. Encontrava-se ainda referido a necessidade de certificação energética dos edifícios e inspeções regulares de caldeiras e instalações de ar condicionado [2].

Aquando da publicação desta diretiva, Portugal não só se preocupou com o cumprimento dos requisitos energéticos da diretiva como optou também por desenvolver exigências na QAI, publicando o decreto-lei n.º 78/2006 de forma a definir condições mínimas de qualidade do ar interior para os edifícios abrangidos pelo Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE) [3].

Neste documento decretou-se a necessidade de fiscalização a fim de promover as boas práticas de eficiência energética, a utilização de sistemas de energias renováveis e, ainda, as condições de garantia da qualidade do ar interior, de acordo com o descrito no Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) e no Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (RSECE). Estas fiscalizações tinham como finalidade a identificação das medidas corretivas e de melhoria de desempenho aplicáveis aos edifícios e respetivos sistemas energéticos, nomeadamente caldeiras e equipamentos de ar condicionado, quer no que respeita ao desempenho energético, quer no que respeita à qualidade do ar interior [4].

Posteriormente, em 2010, com a publicação da diretiva n.º 2010/31/UE, o regime estabelecido pela diretiva n.º 2002/91/CE foi reformulado através de novas medidas de desempenho energético nos edifícios, à luz das metas e dos desafios acordados pelos Estados-Membros para 2020. Deste modo, os Estados-Membros tiveram a responsabilidade de rever as suas políticas de desempenho energético dos edifícios e estabelecer novos requisitos mínimos [3].

A nível da ventilação dos espaços interiores nos anos anteriores a 2010, constatou-se um aumento do número de aparelhos de ar condicionado nos países europeus. Esta utilização proporcionou um aumento do consumo de energia nas horas de ponta, para as quais o preço da energia elétrica é mais elevado. De forma a tentar contrariar uma deterioração do equilíbrio energético foi indispensável a adoção de estratégias que melhorem o desempenho térmico e consequentemente da QAI durante, principalmente, a estação de arrefecimento. Assim sendo foi necessário o desenvolvimento de técnicas e estratégias de arrefecimento passivo. Estas práticas devem ter em conta as condições gerais de ambiente interior

evitando possíveis impactos negativos, como uma ventilação inadequada, tendo em consideração as condições locais, a utilização a que se destina o edifício e a sua idade [5].

Um estudo realizado em 2010 por Dimitroulopoulou, revela que vários países europeus apresentam valores de caudal inferiores a 0.5 renovações por hora (RPH) [6].

Neste mesmo ano foi realizado em Portugal pelo Instituto do Ambiente e Desenvolvimento (IDAD) um estudo designado por projeto HabitAR [7] que avaliou a qualidade do ar e o conforto de 557 habitações portuguesas. Permitindo concluir que em 60% das habitações examinadas os valores mínimos não eram atingidos em todos os indicadores de qualidade do ar interior [8].

Os dados apresentados pelo projeto HabitAR revelaram-se preocupantes, dado que uma má qualidade do ar interior provoca vários sintomas negativos nos ocupantes como por exemplo:

- Desconforto;
- Sensação de ar pesado;
- Existência de odores;
- Irritação nos olhos e transmissão de doenças via aérea;

Além dos efeitos nocivos para a saúde, existe uma relação entre uma boa qualidade de ar ambiente no local de trabalho e a produtividade dos trabalhadores.

Neste contexto, Portugal teve de reformular os anteriores diplomas legais surgindo o decreto-lei n.º 118/2013, de 20 de agosto, que veio transpor a diretiva n.º 2010/31/UE [3].

A portaria n.º 353-A/2013 estipulou novas exigências em matéria de qualidade do ar interior, nomeadamente, ao nível dos valores mínimos de caudal de ar novo para os edifícios de comércio e serviços, complementando deste modo o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS). Neste documento, são explicitados os diferentes métodos que devem ser respeitados no cálculo dos valores mínimos de caudal de ar novo considerando soluções com ventilação por meios naturais, meios mecânicos ou uma combinação de ambos [9].

Relativamente às habitações no Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), o caudal mínimo para uma habitação é de 0.6 RPH para a estação de arrefecimento e 0.4 RPH para a de aquecimento [10].

A QAI é garantida através da ventilação. Esta pode ser natural, forçada (mecânica) ou mista (natural e forçada), desempenhando diversas funções como a eliminação de poluentes, proporcionar conforto térmico aos utilizadores e a diminuição do consumo de energia para evitar ou minimizar o uso de sistemas de condicionamento de ar, no caso da ventilação natural.

Considerando as condições climáticas de Portugal, a ventilação natural deve ser privilegiada face aos equipamentos de ventilação forçada, numa ótica de otimização de recursos, de eficiência energética e de redução de custos [1].

1.1.1. Ventilação Natural

Os sistemas de ventilação natural são definidos como - *“o conjunto de meios que permitem o escoamento do ar através do edifício e da sua envolvente promovido pelas ações naturais (térmica e vento)”* - [11]. Estes sistemas têm um consumo nulo de energia, um baixo custo inicial e de funcionamento e requerendo pouca manutenção ao longo do tempo de vida [12].

Esta estratégia leva a uma redução do consumo de energia para climatização de arrefecimento nos edifícios. O sector dos edifícios representa cerca de 28% do consumo total de energia primária em Portugal [13] e aproximadamente 40% na Europa [5].

A ventilação natural no interior dos edifícios é conseguida através da combinação entre a disposição, localização e controlo das aberturas que existem no edifício como é o caso das janelas, portas, clarabóias e entradas ou saídas especialmente projetadas para este fim.

Adicionando a esta combinação os mecanismos indutores, a temperatura e o vento é possível atingir taxas de ventilação significativas e uma distribuição uniforme de ar no interior dos edifícios. Porém, estes mecanismos estão associados a uma elevada variabilidade e extremamente dependentes da envolvente do edifício (orientação e obstáculos) não garantindo, por este motivo, as taxas de ventilação estabelecidas como referência no interior dos edifícios [12].

1.1.1.1. Mecanismos Indutores

- Efeito da Temperatura

O efeito da temperatura também conhecido como efeito de chaminé, consiste na diferença de pressão hidrostática gerada pelo peso das colunas de ar interior e exterior do edifício. Assumindo que a temperatura e a pressão barométrica são constantes, numa coluna de ar, a pressão estática depende da densidade do ar e da altura de interesse acima do ponto de referência (*Equação 1-1*) [12].

$$P_s = P_r - \rho_{ar} g \gamma \quad [Pa] \quad \text{Equação 1-1}$$

Onde,

P_r – pressão no ponto de referência [Pa];

ρ – massa volúmica do ar interior ou exterior [kg/m^3];

g – aceleração gravítica, 9.81 [m/s^2];

γ – altura acima do ponto de referência [m].

A massa volúmica do ar varia com o gradiente térmico do ambiente onde se encontra, assim, o ar frio (mais denso). Entra pelas aberturas nas cotas inferiores da fachada, aquece no interior do edifício, tornando-se menos denso, consequentemente ascende e sai pelas aberturas nas cotas superiores [12].

A temperatura do ar exterior no meio urbano é geralmente superior à das áreas circundantes à cidade, fenómeno denominado de ilha de calor. A existência deste fenómeno deve-se principalmente à presença de edifícios e consequente alteração das paisagens. Os materiais utilizados na construção das cidades possuem, geralmente, baixa capacidade térmica e baixa densidade. Estas características aliadas à elevada capacidade de reflexão e emissão da radiação provocam um aumento da temperatura no interior de zonas edificadas. O fenómeno da ilha de calor encontra-se também relacionado com a baixa densidade de vegetação neste tipo de zonas conduzindo a um menor sombreamento dos edifícios e, consequentemente, a uma maior área exposta diretamente à radiação solar [14].

Como se pode observar na Figura 1-1, a temperatura no centro, onde se encontra um maior aglomerado edificado, apresenta valores de temperatura mais elevados quando comparado com as redondezas. Segundo a *Environmental Protection Agency* a temperatura média anual de uma cidade com cerca de 1 milhão de habitantes pode ser entre 1 a 3°C superior quando comparada com a área circundante. No período noturno atingem-se diferenças de temperatura ainda maiores [15].

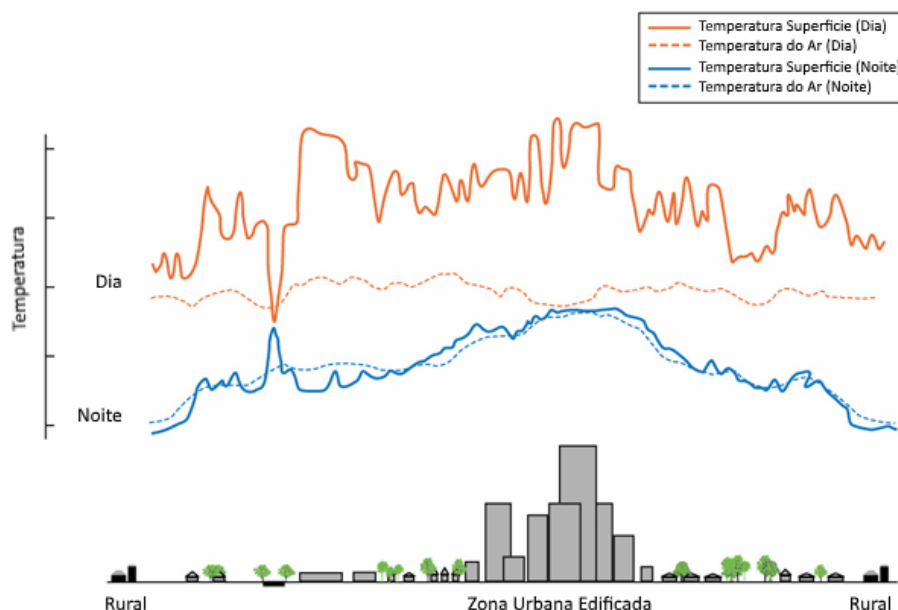


Figura 1-1: Representação exemplificativa da variação da temperatura sobre centros urbanos (Fonte: adaptado [16])

O fenómeno da ilha de calor que sucede nas áreas urbanas é prejudicial à ventilação natural, como estratégia de arrefecimento passivo dos ambientes interiores dos edifícios, uma vez que provoca um aumento da temperatura do ar exterior diminuindo a diferença de temperaturas entre o ar exterior e o ar interior [17].

O aglomerado edificado nas áreas urbanas afeta, não só a temperatura do ar nestas zonas mas, também o comportamento do vento, alterando o seu escoamento que será explicado na secção 1.1.2. do presente capítulo.

- Efeito do Vento

O vento é outro parâmetro que influencia a ventilação natural nos edifícios. Este define-se como uma deslocação de ar provocada pela diferença de pressão de várias camadas atmosféricas [18].

O vento ao passar junto da superfície do solo, edifícios, vegetação, entre outras, é sujeito ao atrito que se caracteriza como uma força com direção e sentido contrário ao escoamento, o que reduz a sua velocidade [18]. Esta força poderá ser maior ou menor, consoante a quantidade de rugosidade presente na superfície.

A existência destes elementos junto à superfície provoca a delimitação de camadas onde a ação do vento sofre uma maior influência, designada por camada limite.

A zona (vertical) onde o vento é influenciado pelas forças de atrito presentes na superfície terrestre é denominada por camada limite atmosférica (CLA) e é definida como - “a parte da troposfera que é diretamente influenciada pela presença da superfície da Terra e que responde à influência da superfície com uma escala de tempo de cerca de uma hora ou menos” [19].

O perfil de velocidade na CLA varia com alguns fatores como a velocidade média do vento, as propriedades do terreno, do fluxo de calor, a presença de nuvens e do próprio perfil nas seis a oito horas anteriores [18].

Nas zonas urbanas forma-se uma camada limite (interior) urbana (CLU), que representa a zona onde o escoamento atmosférico é influenciado pela presença de construções.

Esta camada está dividida em duas subcamadas [18].

- A Camada de Cobertura Urbana ou inferior, possui uma espessura na ordem da altura média dos edifícios, que representam os elementos de rugosidade. Nesta subcamada, os escoamentos possuem um campo próprio de velocidades e existe interferência entre os mesmos. A distribuição de velocidades depende das condicionantes locais;
- A Camada Inercial ou de Mistura, representa 10% da CLA, é a zona onde os efeitos de inércia predominam, o gradiente da velocidade do vento é elevado, a turbulência é causada pelos edifícios e por efeito de convecção [19].

Atentando à Figura 1-2, é possível observar a localização das várias camadas e subcamadas limites formadas à superfície.

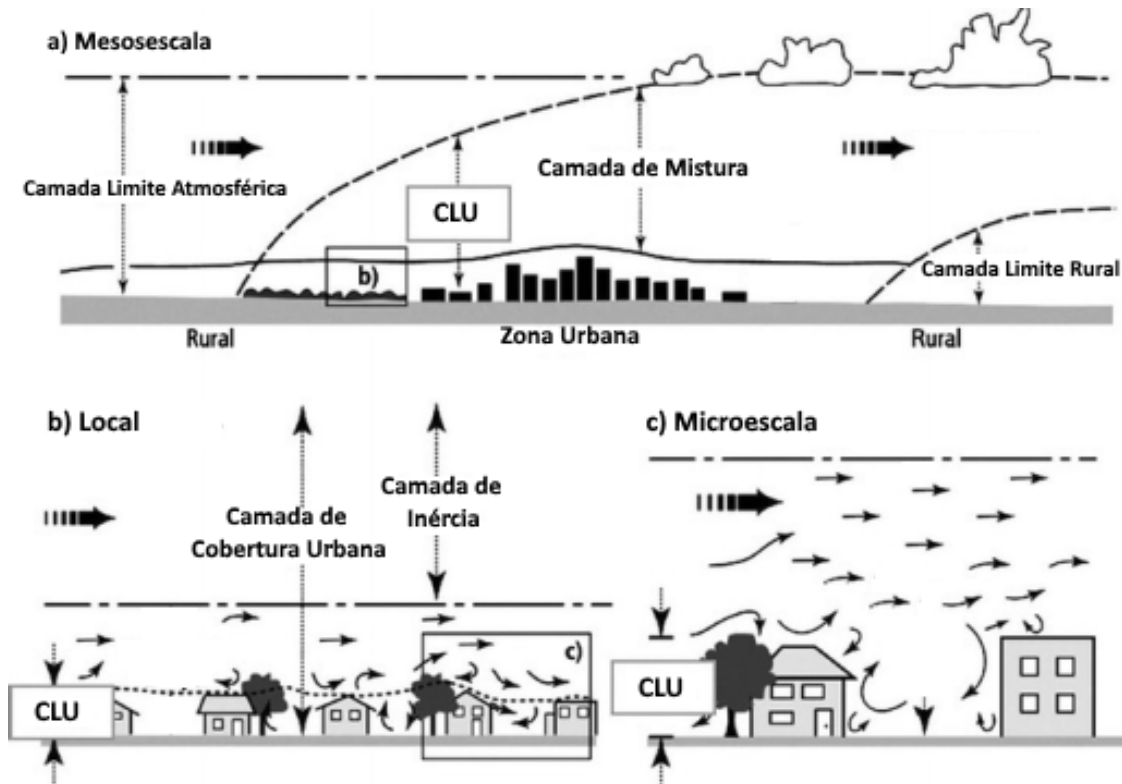


Figura 1-2: Camadas Limite Atmosférica (Fonte: adaptado [20])

O vento ao contornar um edifício dá origem a zonas com pressão estática inferior ou superior à pressão atmosférica. As zonas em que a pressão estática é superior à atmosférica ocorrem sobretudo nas zonas da envolvente expostas diretamente à incidência do vento, barlavento, enquanto que as zonas com pressão estática inferior predominam nas zonas do lado oposto ao da direção do vento, sotavento, incluindo, também, as coberturas planas e com reduzida inclinação, onde ocorre separação do escoamento [21].

A pressão exterior causada pelo vento pode ser obtida através da Equação 1-2 [12]:

$$P_w = \frac{C_p \rho_{ar} U^2}{2} \quad [Pa] \quad \text{Equação 1-2}$$

Onde,

ρ_{ar} – massa volúmica do ar, $[kg/m^3]$;

C_p – coeficiente de pressão, [adimensional];

U – velocidade do vento, [m/s].

Os coeficientes de pressão variam com a direção do vento, a forma do edifício, a topografia, a rugosidade do terreno e os obstáculos que se encontram ao redor.

O coeficiente de pressão pode ser obtido a partir da *Equação 1-3* [21]:

$$C_p = \frac{P_i - P_\infty}{\frac{1}{2} U_{ref}^2} \quad [ad] \quad \text{Equação 1-3}$$

Onde,

U_{ref} – velocidade do vento não perturbada pelo edifício a uma altura de referência, normalmente referida à cota da cobertura, [m/s];

P_i – pressão estática local, [Pa];

P_∞ – pressão estática de referência, pressão atmosférica, [Pa].

A distribuição dos valores de coeficiente de pressão na envolvente de um edifício depende das suas dimensões e da existência de elementos que imponham separações do escoamento.

Deste modo os cálculos desta grandeza não se podem basear em correlações simples sendo necessário estudos e recolha de grandes quantidades de dados [12].

A título exemplificativo, a Figura 1-3. ilustra a distribuição de coeficientes de pressão para a mesma fachada, para edifícios com alturas diferentes.

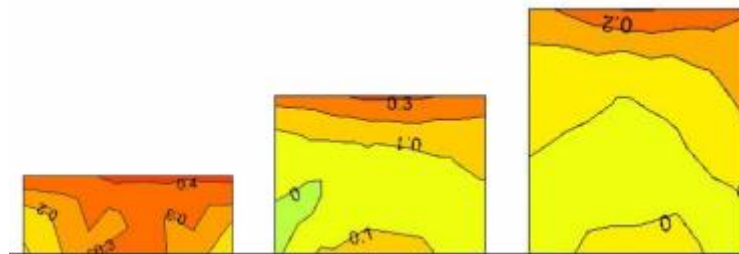


Figura 1-3: Exemplo de distribuição de coeficientes de pressão na fachada de um edifício (Fonte: [22])

Como referido anteriormente, a ação do vento num edifício depende, entre outras, da direção do vento, da orientação da superfície e das condições da envolvente. Os desfiladeiros urbanos e a geometria com que são construídos provocam uma distribuição muito particular dos coeficientes de pressão nestas zonas das grandes cidades.

1.1.2. Desfiladeiros urbanos

Nas áreas urbanas, a localização dos edifícios torna-se um obstáculo à passagem do vento criando, por essa razão, várias zonas com diferentes tipos de escoamento.

O comportamento do vento no interior do meio urbano tem sido alvo de vários estudos, com o objetivo de obter uma análise mais detalhada do que acontece nestas zonas mas, também para um conhecimento mais profundo de características específicas do vento nesta situação, como por exemplo os coeficientes de pressão nas fachadas dos edifícios, resultantes da ação do vento [22]. Existem vários estudos sobre esta temática, uma vez que o vento nestes locais se comporta de forma diferente, por exemplo, a

caracterização do escoamento dentro dos desfiladeiros urbanos por causa da poluição, entre outros. Ao longo desta dissertação apenas serão analisados os coeficientes de pressão na fachada para fins de ventilação natural.

Principalmente nas grandes cidades a existência de edifícios alinhados é muito frequente, criando desfiladeiros urbanos. Neste tipo de configuração pode ocorrer, por exemplo, um aumento da velocidade do escoamento ou alteração do regime do vento diferente do previsto quando o vento circula sem obstruções devido, essencialmente, à existência de grandes corredores para a passagem do vento [23]. Atentando à Figura 1-4, é possível observar que em Portugal existem localizações onde existem este tipo de desfiladeiros, como é o caso da baixa de Lisboa, bastante propícia à ocorrência deste tipo de fenómenos visto ter uma disposição geométrica regular entre os edifícios e as ruas da cidade.



Figura 1-4: Desfiladeiro urbano exemplificativo localizado na zona baixa da cidade de Lisboa

As dimensões dos desfiladeiros são, geralmente, expressas pelo rácio entre a altura entre os edifícios (H) e a distância entre os mesmos (W).

Dependendo do valor da relação entre altura e afastamento os desfiladeiros podem ser caracterizados [24]:

- Se $H/W = 1$, desfiladeiro regular;
- Se $H/W \leq 0.5$, avenida;
- Se $H/W > 2$, desfiladeiro profundo.

Os desfiladeiros urbanos podem ainda ser caracterizados tendo em consideração o comprimento dos blocos de edifícios (L), isto porque nas extremidades o fluxo de ar já não se encontra limitado por ambos os lados e o vento pode dispersar-se livremente. Para esta caracterização os desfiladeiros podem dividir-se em 3 categorias [24]:

- Se $L/H \approx 3$, consideram-se desfiladeiros pequenos;
- Se $3 < L/H < 5$, desfiladeiros médios;
- Se $L/H > 5$, desfiladeiros longos.

Os desfiladeiros urbanos dependendo da sua geometria e das categorias apresentadas anteriormente podem produzir três regimes de fluxo de ar, representados na Figura 1-5.

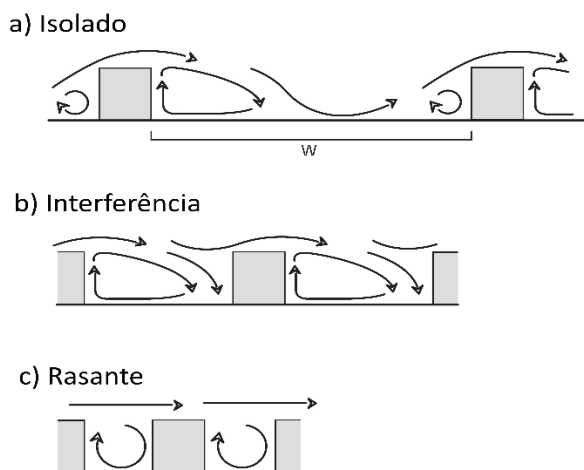


Figura 1-5: Regimes do escoamento nos desfiladeiros urbanos (Fonte: adaptado [19])

Na Figura 1-5– (a) o fluxo de ar é caracterizado por um escoamento isolado. Este ocorre em situações em que os edifícios se encontram mais afastados e o fluxo de ar se comporta de forma semelhante ao descrito para edifícios isolados, ou seja, os edifícios não têm grande impacto no vento sendo a distância entre eles suficiente para o escoamento recolar ao chão entre edifícios [25].

A Figura 1-5–(b) representa uma situação em que os espaço exterior é mais condicionado provocando a geração de padrões mais complexos, uma vez que a zona de esteira de um edifício interfere com o seguinte. Tipicamente, verifica-se em locais como um bloco de apartamentos numa zona isolada ou zonas com grandes zonas com habitações semi-espaçadas. Este regime é designado por escoamento interferência [25].

Por fim, a Figura 1-5-(c) designado por escoamento rasante, ocorre para espaços entre edifícios ainda mais reduzidos em que o escoamento desliza sobre o desfiladeiro urbano, gerando vórtices no espaçamento entre edifícios e um escoamento estável no topo dos mesmos. Este fenómeno normalmente verifica-se em desfiladeiros urbanos mais estreitos onde a altura dos edifícios é similar [25].

Deste modo, é possível verificar que a geometria dos desfiladeiros é bastante importante para determinar o fluxo de ar que circula junto à fachada dos edifícios. Um estudo mais detalhado, pode permitir um maior conhecimento da distribuição dos coeficientes de pressão nas fachadas dos edifícios e se estes contribuem beneficamente, ou não, para a utilização mais recorrente da ventilação natural nos edifícios.

1.2. Objetivos

A presente dissertação tem como principal objetivo o estudo da ação do vento nos desfiladeiros urbanos, especialmente com vista à ventilação natural. Utilizou-se para efeitos de simulação um túnel de vento onde é possível variar as dimensões dos desfiladeiros, permitindo a recolha de dados para a análise detalhada. Após o tratamento e análise dos resultados obtidos pretende-se criar uma base de dados capaz de ser utilizada por qualquer utilizador e aplicar a metodologia da norma portuguesa NP EN 1991-1-4/2007 - Ações em estruturas., de forma a facilitar a leitura dos coeficientes e poder compara-los entre desfiladeiros urbanos.

O Laboratório Nacional de Engenharia Civil disponibilizou para o desenvolvimento do trabalho experimental o túnel de vento e *software* para a recolha de dados. Para efeitos de tratamento dos dados recolhidos utilizou-se o *software* de modelação numérica Matlab®.

1.3. Estrutura da dissertação

De modo a garantir o cumprimento dos objetivos mencionados, a dissertação organiza-se da seguinte forma:

No Capítulo 2 será apresentado o modelo do desfiladeiro urbano considerado. Aqui define-se os tipos de edifícios utilizados e as configurações, estabelecendo as variações de altura, comprimento e afastamento entre edifícios e a definição da localização das tomadas de pressão. Por fim, refere-se ainda as diferentes orientações a que o modelo irá ser sujeito.

No Capítulo 3 será descrita a metodologia utilizada para a obtenção e tratamento de dados. Inicialmente esclarece-se as características do túnel de vento e o método de recolha dos dados. Em seguida, inicia-se o tratamento de dados com a definição da interpolação utilizada, funções de base radiais (RBF) e, em seguida, os dados foram manipulados tendo-se dividido o edifício em secções a fim de obter o valor médio do coeficiente de pressão, tendo por base a norma portuguesa NP EN 1991-1-4/2007 - Ações em estruturas.

No Capítulo 4 serão apresentados e analisados os resultados obtidos nas diversas simulações, bem como os gráficos e imagens representativas dos coeficientes de pressão nas fachadas dos edifícios.

No Capítulo 5 serão apresentadas as conclusões tecidas durante o desenvolvimento da presente dissertação, dando especial foco ao cumprimento dos objetivos.

Nos Anexos A e B serão apresentadas as coordenadas das tomadas de pressão usadas no bloco central do modelo de desfiladeiro urbano, bem como as respetivas configurações.

Nos Anexos C e D serão apresentados os resultados. Neste primeiro, encontrar-se-ão as distribuições de coeficientes de pressão para as fachadas dos desfiladeiros urbanos, enquanto que no segundo serão apresentados os valores médios de coeficientes de pressão, tendo por base o seccionamento das fachadas presente na norma NP EN 1991-1-4/2007 - Ações em estruturas.

Capítulo 2. Modelo do Desfiladeiro Urbano

Neste capítulo serão apresentados os modelos a utilizar no túnel de vento, que têm como objetivo obter as distribuições de pressão nas fachadas em desfiladeiros urbanos com várias proporções. Este modelo irá simular uma zona edificada com vários edifícios dispostos em diferentes configurações, possibilitando assim o estudo da ação do vento nos desfiladeiros urbanos, que são o foco desta dissertação.

Este modelo, Figura 2-1, é constituído por uma malha de 9 edifícios tendo-se medido os coeficientes de pressão do edifício central. O modelo foi testado para 32 configurações diferentes onde se fizeram variar parâmetros como: a altura dos edifícios, o comprimento e o afastamento entre os mesmos. Foram também efetuadas 8 simulações de referência, onde se considerou que o edifício central estava isolado.

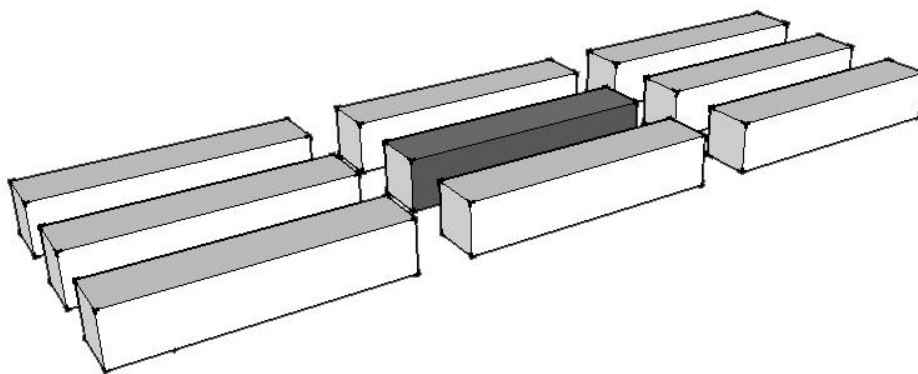


Figura 2-1: Modelo do Desfiladeiro Urbano

Ao longo desta secção serão apresentadas as características dos edifícios, as várias combinações e critérios utilizados para a escolha das mesmas bem como as orientações testadas.

2.1. Edifícios

2.1.1. Edifício de referência

Este edifício é constituído por blocos simples de linhas retas, em acrílico, que se podem ligar entre si criando a altura e o comprimento desejado no ensaio, Figura 2-2. O bloco que se encontra no topo possui cobertura sendo os restantes abertos nos topos de modo a permitir a passagem da tubagem de ligação entre as tomadas de pressão e os transdutores.

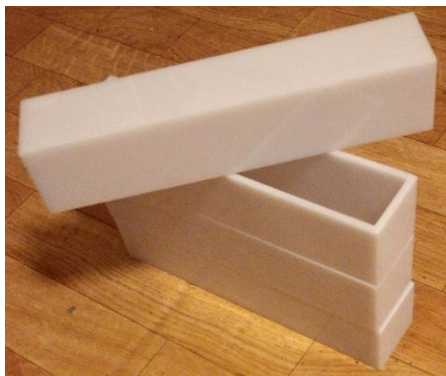


Figura 2-2: Edifício central em acrílico

Ao longo dos ensaios efetuados variou-se a altura e o comprimento do(s) edifício(s), mantendo-se constante a largura.

2.1.1.1. Configurações

- **Altura (H)**

Para se avaliar o efeito da ação do vento com a altura dos edifícios, testaram-se quatro cotas diferentes, como se pode observar na Figura 2-3, que vão variar entre 5cm e 20cm.

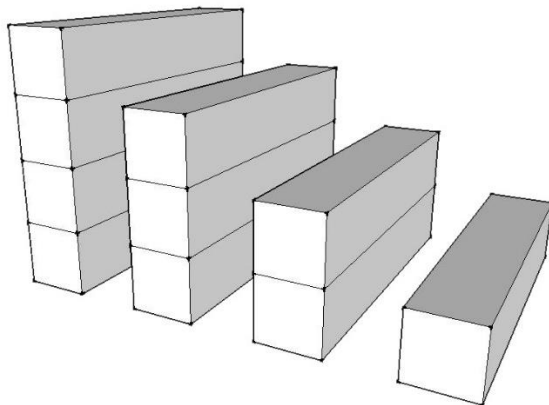


Figura 2-3: Variação da altura dos edifícios no modelo

A variação da altura tem como objetivo compreender como variam os coeficientes de pressão com a dimensão dos edifícios mas também entender o impacto que os edifícios adjacentes têm no edifício de referência, à medida que este aumenta a sua dimensão.

- **Largura (C)**

Os edifícios utilizados no modelo possuem sempre a mesma largura ($C = 5cm$), para todas as configurações testadas.

- **Comprimento (L)**

O comprimento do edifício, variou em duas dimensões, 25cm e 50cm, como se pode observar na Figura 2-4. Esta variação é de apenas dois comprimentos para tentar compreender se existe alguma variação nos coeficientes de pressão com o aumento do comprimento do desfiladeiro e ainda para uma melhor perceção do comportamento do escoamento nas fachadas laterais do edifício de referência quando o comprimento é 2 vezes maior.

Assumiu-se que um aumento superior a duas vezes o comprimento inicial do edifício não ia trazer informação relevante, uma vez que o escoamento deverá estabilizar ao longo do desfiladeiro urbano.

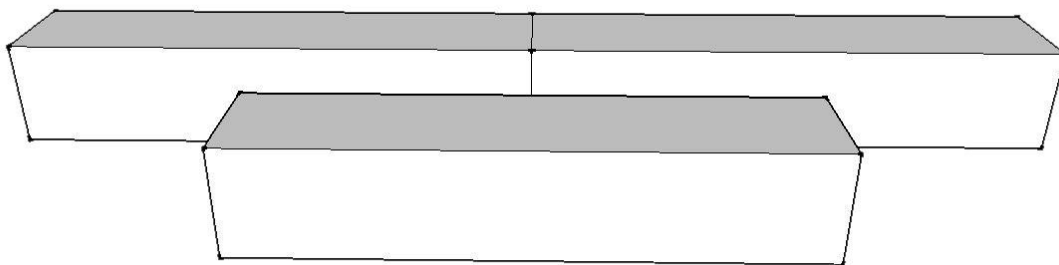


Figura 2-4: Variação do comprimento dos edifícios no modelo

Uma vez definidas as variações de altura e comprimento, para o edifício de referência, obtêm-se então 8 configurações diferentes, como se pode observar na Figura 2-5.

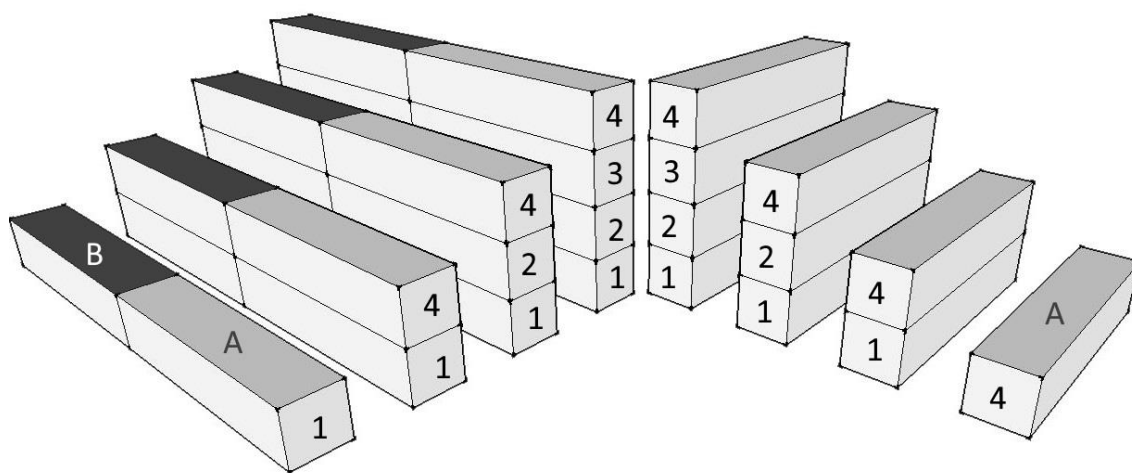


Figura 2-5: Configurações do edifício central

Para facilitar o processo, separou-se os blocos entre posições (A e B), sendo que o bloco A se encontra numa posição fixa, enquanto o bloco B é apenas adicionado nos cenários em que se considera o dobro do comprimento.

Após a definição dos blocos foi necessário definir as fachadas para a colocação das tomadas de pressão permitindo a recolha de dados para a posterior análise detalhada da ação do vento no edifício.

Na Figura 2-6, pode observar-se a nomenclatura utilizada para as fachadas no decorrer do presente estudo.

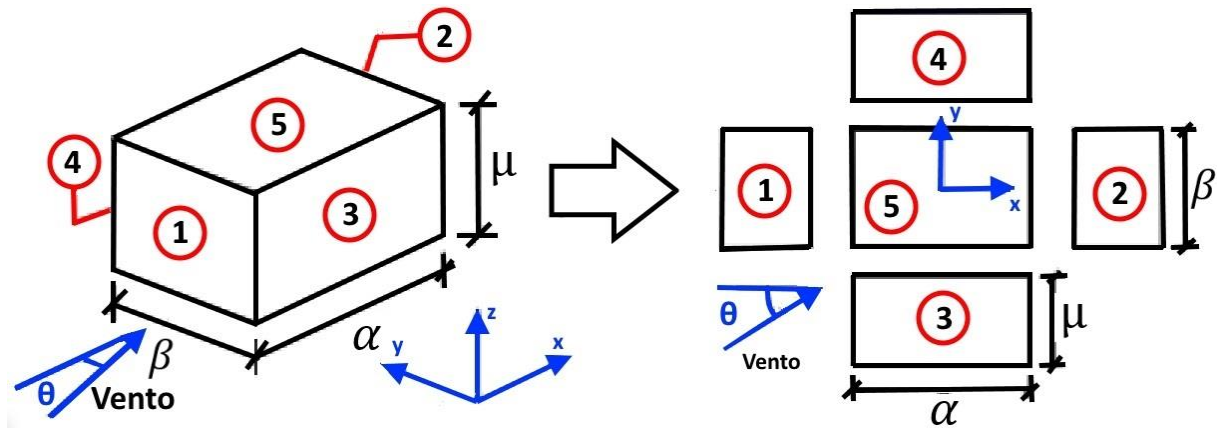


Figura 2-6: Configuração das fachadas do bloco

Onde as dimensões de largura, comprimento e altura foram adimensionalizadas pela altura do ensaio, (H). isto é, por exemplo, quando o ensaio possui apenas um bloco, a altura considerada como altura do ensaio corresponde a 5cm e quando o mesmo possui os quatro blocos, a altura toma o valor de 20cm .

Assim sendo as variáveis assinaladas na Figura 10, são calculadas da seguinte forma:

$$\mu = \frac{H}{H} \quad \text{Equação 2-1}$$

$$\alpha = \frac{C}{H} \quad \text{Equação 2-2}$$

$$\beta = \frac{L}{H} \quad \text{Equação 2-3}$$

Onde,

μ – altura adimensionalizada, [ad]

H – altura do edifício, [m]

α – comprimento adimensionalizado, [ad]

C – comprimento do edifício, [m]

β – largura adimensionalizada, [ad]

L – largura do edifício, [m]

2.1.1.2. Tomadas de pressão

De forma a realizar as medições de coeficientes de pressão no edifício central, os blocos de acrílico sofreram perfurações com um diâmetro de 0.7mm , onde foram colocadas as tomadas de pressão.

As posições das tomadas de pressão foram definidas de modo a abranger uniformemente as fachadas dando ênfase às esquinas, locais em que o escoamento se comporta de modo mais complexo e onde se esperam gradientes mais intensos.

O bloco que possui cobertura (A-4) é utilizado em todos os ensaios. As fachadas escolhidas para as tomadas de pressão no bloco-topo do edifício, como se pode observar na Figura 2-7, foram: a fachada frontal, uma das fachadas laterais e metade da cobertura.

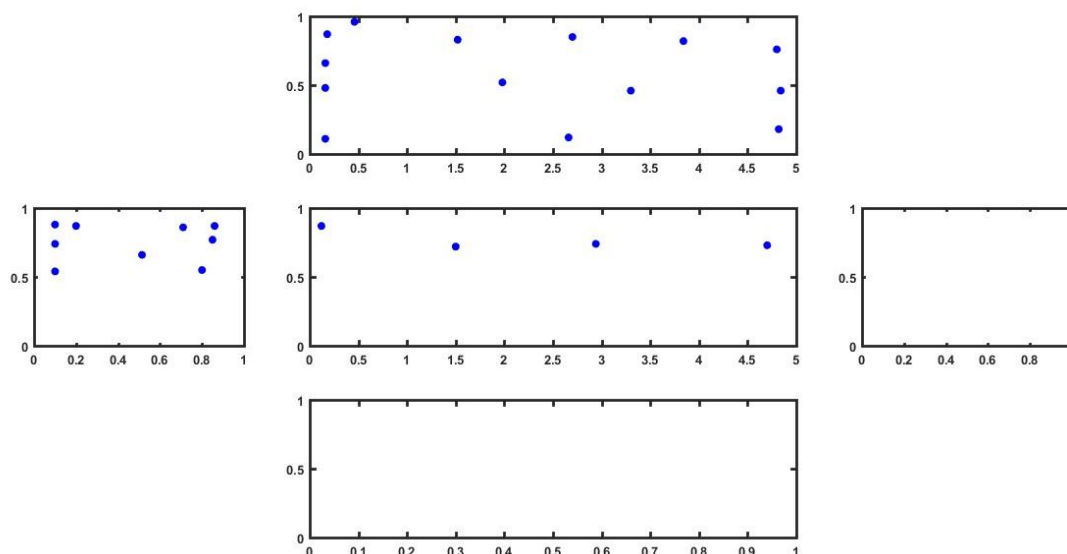


Figura 2-7: Localização das tomadas de pressão no bloco-topo do edifício de referência (A-4)

Para os blocos inferiores do edifício as tomadas de pressão foram colocadas apenas na fachada lateral e frontal.

Apenas os blocos A possuem tomadas na fachada frontal, uma vez que estas não possuem qualquer utilidade nos blocos do tipo B, encontrando-se estes sempre encostados a um bloco do tipo A, como se pode observar na configuração do lado esquerdo da Figura 2-7.

No total (8 blocos) foram colocadas 124 tomadas de pressão, cuja distribuição e coordenadas se apresentam no Anexo A.

2.1.2. Edifícios Adjacentes

Os edifícios adjacentes encontram-se identificados a branco na Figura 2-1 e têm como principal função criar a envolvente urbana para se aproximar o mais possível da realidade.

O material dos blocos é esferovite e estes possuem dimensões iguais às do edifício de referência. Estes edifícios não são sujeitos a nenhum tipo de medição nem possuem tomadas de pressão.

As dimensões dos edifícios adjacentes nas simulações efetuadas são as mesmas do edifício de referência.

Para uma melhor compreensão da variação do efeito do vento em vários tipos de desfiladeiros urbanos, decidiu-se variar o afastamento entre os edifícios. Desta forma criou-se uma variável adimensional que relaciona o afastamento e a altura (W/H).

O Regulamento Geral dos Edifícios Urbanos (RGEU) apresenta duas limitações acerca do espaçamento entre edifícios. O afastamento mínimo entre fachadas reais tem de ser 10 m. (art. 60º) Este regulamento define ainda que em caso de interrupção entre as duas edificações o intervalo entre elas pode ser igual à sua média de alturas (art. 59º, §4) [26]. E ainda o (art. 59º, §1) que diz que os elementos de fachada não

podem ultrapassar a linha com 45° a partir da construção fronteira, isto é, o afastamento mínimo é igual à altura do edifício.

Considerando o estudo do efeito dos obstáculos no edifício de referência um dos objetivos da presente dissertação, não se pretende que a razão W/H possua um valor muito elevado, de forma a que o edifício central não fique muito afastado dos adjacentes e possa ser considerado como isolado. Fixou-se então o limite máximo de 2 para esta relação. Considerou-se como cenário base aquele em que a altura iguala o afastamento ($W/H = 1$), seguindo o prescrito em [26]. Além destes dois casos, foram considerados mais dois: onde W/H estaria no intervalo de [1-2]; e onde a relação apresentava um valor inferior a 1 ($W/H < 1$).

Assim sendo, pode observar-se na Tabela 2-1 as relações utilizadas entre estes dois parâmetros para as simulações efetuadas de forma a abranger as várias situações existentes nos desfiladeiros urbanos.

Tabela 2-1: Relações consideradas entre o afastamento dos edifícios e a sua altura

W/H			
0.75	1	1.5	2

Com os critérios de análise definidos, alcançou-se um total de 32 configurações. Variando entre quatro alturas, dois comprimentos e quatro relações afastamento/altura, como se pode ver no Anexo B.

2.2. Orientações

Para cada configuração de edifícios efetuaram-se 16 ensaios com orientações diferentes. Os ensaios foram efetuados para os 360° com intervalos de 30° em 30°, contemplando ainda as direções de nordeste (45°), sudeste (135°), sudoeste (225°) e noroeste (315°).

Desta forma, é possível analisar a influência dos obstáculos nas várias fachadas à medida que a incidência do vento é alterada. Assim sendo, é possível extrapolar o valor da pressão para as fachadas onde não existem tomadas de pressão.

Esta extrapolação, tal como se pode observar na Figura 2-8, necessita de utilizar quatro direções, isto é, são necessárias quatro incidências de vento para completar a distribuição dos coeficientes de pressão para o edifício central. Esta metodologia apenas é possível porque os edifícios e a sua envolvente são simétricas.

Atentando aos pontos presentes na Figura 2-8, os pontos vermelhos são obtidos através da simetria do eixo dos yy da fachada lateral, da fachada frontal e da cobertura das tomadas de pressão representadas a azul. Os pontos verdes são obtidos através de uma simetria da fachada frontal do eixo xx , a partir dos pontos azuis. Por fim, os pontos amarelos são obtidos a partir de uma dupla simetria dos eixos xx e yy a partir dos pontos azuis.

Por exemplo, para uma orientação pretendida de 30°. As tomadas de pressão representadas a preto são obtidas através dessa mesma orientação, as tomadas a vermelho puderam ser obtidas através da mesma configuração mas, desta vez, orientada a 330°, as tomadas a verde a partir da orientação 150° e por fim a azul, a 210°.

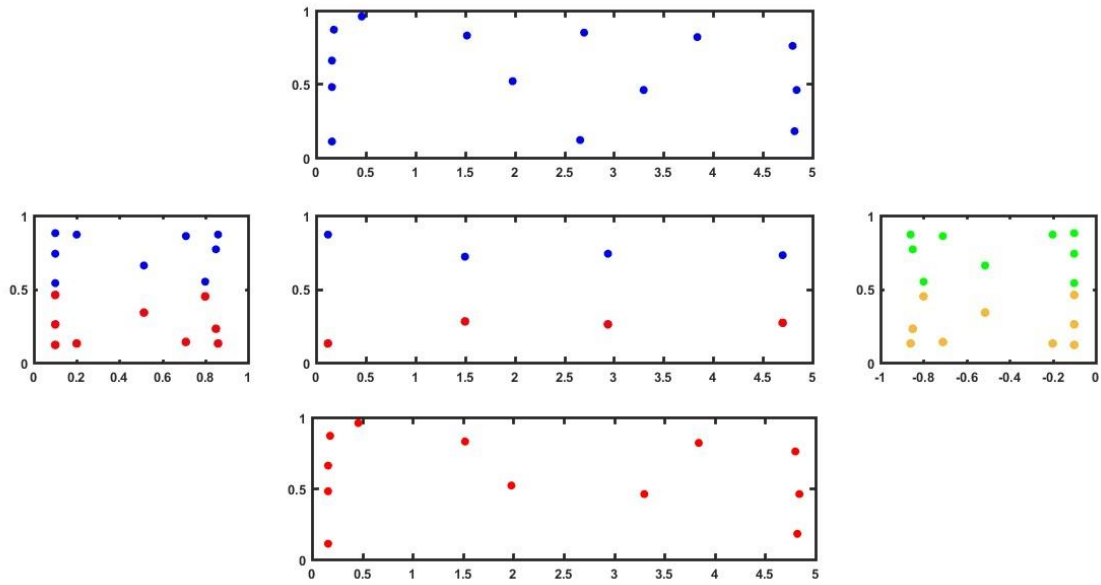


Figura 2-8: Extrapolação das tomadas de pressão no bloco-topo do edifício de referência

Capítulo 3. Metodologia

Os dados de coeficiente de pressão necessários para a análise detalhada do fenómeno que ocorre nos desfiladeiros urbanos foram obtidos através da simulação do modelo edificado num túnel de vento, presente no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), com posterior tratamento no software Matlab®.

3.1. Obtenção de dados: Ensaios em Túnel de Vento

O túnel de vento utilizado para os ensaios presente no LNEC é do tipo camada limite, com cerca de 9 metros de comprimento, com uma secção reta com 2 metros de altura e 3,1m de largura [27]. Este túnel é de aspiração e de descarga atmosféricas.

A câmara de ensaios é portadora de um sistema que permite regular a velocidade do vento no seu interior. Este processo de controlo é conseguido devido à existência de 6 ventiladores axiais, instalados a jusante, que permitem uma velocidade de escoamento entre os 0 e os 18m/s. Cada um dos ventiladores possui uma velocidade máxima de 3m/s e uma potência de 11kW, sendo que dois deles (situados no prolongamento do eixo do túnel) permitem um ajuste fino pelo facto de serem controlados por variadores de frequência [27].

De referir que apenas se usaram 4 dos 6 ventiladores para os ensaios.

O chão da câmara de ensaios integra uma plataforma rotativa, sobre a qual foi colocada uma placa de madeira com as dimensões máximas usadas no modelo, permitindo assim reproduzir as 12 orientações definidas na secção 2.2.



Figura 3-1: Túnel de vento

3.1.1. Equipamento utilizado e preparação dos ensaios

As tomadas de pressão foram ligadas através de uma manga plástica flexível a transdutores, com o objetivo de medir a pressão nos locais pretendidos. Foram utilizados três transdutores de pressão PSI®, com *scanners* de 128 canais ESP HD, na totalidade, associado a um sistema de aquisição DTC Initium®. Os dados foram recolhidos à taxa de 2 Hz, durante cerca de 120 segundos por ensaio. Todo o sistema de aquisição é controlado por computador através de *software*, desenvolvido no LNEC, que procede, também, ao armazenamento dos registos.

No interior do túnel de vento encontram-se dois tubos de Pitot:

- O primeiro, a cerca de 0.5 m a montante do modelo e à cota da cobertura do ensaio em análise (Tubo de Pitot inferior).

- O segundo está colocado no topo do túnel de vento (Tubo de Pitot superior).

Os 128 canais utilizados encontravam-se divididos em 3 transdutores, o primeiro de 64 entradas e os outros dois de 32 entradas. Ao longo dos ensaios o número de tomadas de pressão variou dependendo da configuração de cada um. A um dos transdutores de 32 entradas utilizado ligou-se os tubos correspondentes à pressão estática e total do tubo de Pitot inferior e o tubo correspondente à pressão total do túnel de vento, medida através do tubo de Pitot superior, já que a pressão estática neste último constitui a pressão de referência comum a todo o sistema.

3.2. Tratamento de dados: Coeficiente de Pressão

3.2.1. Interpolação

Para representar de forma correta a incidência do vento no edifício de referência, foi realizada uma interpolação dos valores dos coeficientes de pressão para todas as fachadas, recorrendo ao *software* de modelação numérica Matlab®.

Para a interpolação dos dados utilizaram-se Funções de Base Radiais (RBF). Estes tipos de funções consistem num método simples e eficiente. As suas vantagens aumentam quando se pretende tratar informação multidimensional que requer a interpolação de dados provenientes de amostras não uniformes. As RBF têm a capacidade de gerar informação para várias dimensões a partir de pontos distribuídos aleatoriamente [28].

As RBF são funções adimensionais baseadas num raio, representado pela *Equação 3-1*:

$$\varphi(r) = \varphi(|x - x_i|) \quad \text{Equação 3-1}$$

Onde, x_i são os locais onde existem tomadas de pressão (nós).

O objetivo da interpolação RBF é construir uma função aproximada, selecionando os coeficientes c_0 , c_1 e λ_i fazendo corresponder os valores da função aos registados nos nós da interpolação, como se pode observar na *Equação 3-2*.

$$f(x) = c_0 + c_1 x + \sum_{i=1}^N \lambda_i \varphi(|x - x_i|) \quad \text{Equação 3-2}$$

Uma vez encontrados os coeficientes c_0 , c_1 e λ_i , esta expressão pode ser usada para estimar o valor da função em qualquer ponto.

Existem várias funções RBF disponíveis para executar este tipo de interpolação, $\varphi(r)$. As consideradas e testadas para esta situação foram as: gaussiana, multiquadrática, multiquadrática inversa, quadrática inversa e *Thin-Plate Spline*.

Uma vez testadas todas as opções elegeu-se a *Thin-Plate Spline*, uma vez que apresentou os melhores resultados para o estudo. Esta escolha deveu-se ao facto de ser a única função das analisadas que dependia exclusivamente do raio, r , e que não suavizava os valores de coeficientes de pressão que apresentassem valores mais extremos. Esta função encontra-se representada pela *Equação 3-3*:

$$\varphi(r) = r^2 \log(r) \quad [ad] \quad \text{Equação 3-3}$$

3.2.2. Metodologia de Determinação dos Coeficientes de Pressão Segundo a NP EN 1991-1-4/2007 - Ações em estruturas¹

A NP EN 1991-1-4/2007 constitui a Parte 1-4 do Eurocódigo 1 fornecendo orientações para a determinação das ações do vento natural, a utilizar no projeto estrutural de edifícios e de outras obras de engenharia civil, tem como principal objetivo a determinação da ação do vento sobre estruturas diversas.

Na secção 7 da norma, é descrito o método de determinação dos coeficientes aerodinâmicos adequados às construções. Tendo em consideração a análise desenvolvida na presente dissertação, focou-se o estudo nos coeficientes de pressão.

A norma fornece valores de C_p em função da incidência do vento, das proporções geométricas do edifício e da localização em cada fachada. Para a distribuição nas fachadas são divididas em parcelas, dependendo da posição relativa face ao vento e das suas dimensões, para as quais é indicado um valor médio de C_p .

Relativamente à fachada em que incide o vento e a oposta, a norma indica um valor único, justificável, do ponto de vista da segurança estrutural. No entanto, como se pretende efetuar uma análise destinada à ventilação é necessária uma distribuição dos coeficientes de pressão mais detalhada, desta forma, optou-se por dividir a fachada frontal em 9 sectores, Figura 3-7. Para a fachada oposta à incidência do vento, sotavento, uma vez que apresenta pouca variabilidade, considerou-se como um único sector para o qual se calculou a média total dos coeficientes de pressão.

Através da Figura 3-2, indica a nomenclatura utilizada no decorrer deste subcapítulo relativamente às fachadas do modelo. Onde d coincide com o comprimento da fachada lateral e b o comprimento da fachada a barlavento.

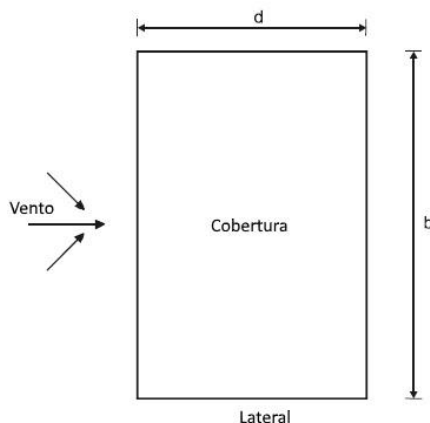


Figura 3-2: Planta-tipo do edifício (Fonte: adaptado [29])

3.2.2.1. Fachada Lateral

O cálculo dos sectores das fachadas recorre à variável e definida a partir das dimensões do edifício, pelo mínimo dos dois valores seguintes:

$$\bullet \quad e = \min(b, 2h) \quad [m] \quad \text{Equação 3-4}$$

¹ O conteúdo do subcapítulo teve por base o descrito na secção 7.2: Coeficientes de Pressão para Edifícios da NP EN 1991-1-4 [29].

O passo seguinte recorre às variáveis e e d para a obtenção do seccionamento da fachada correspondente.

Deste modo, existem três seccionamentos possíveis para a fachada lateral.

- Caso (A): $e < d$

Os sectores da fachada lateral A, B e C são obtidos a partir do esquema apresentado na Figura 3-3 associada às dimensões descritas na Tabela 3-1.

Tabela 3-1: Dimensão das secções da fachada lateral quando $e < d$

Secção	Comprimento	Largura
A	$e/5$	h
B	$4e/5$	
C	$d - e$	

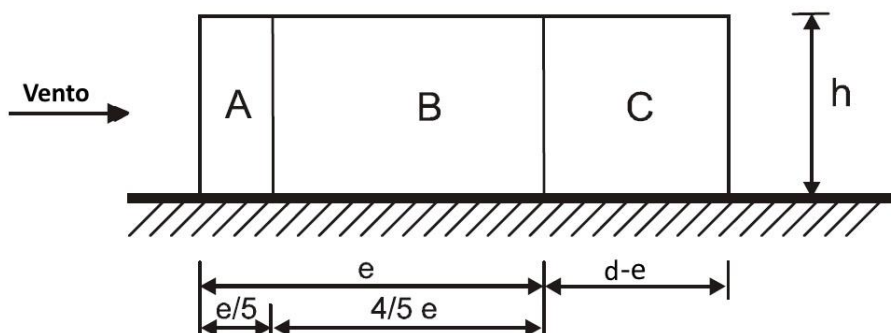


Figura 3-3: Divisão da fachada lateral quando $e < d$ em alçada (Fonte: adaptado [29])

- Caso (B): $d \leq e < 5d$

Nesta condição a fachada lateral apenas possui 2 sectores A e B estes, analogamente ao caso anterior, são obtidos a partir das dimensões presentes na Tabela 3-2 juntamente com o esquema apresentado na Figura 3-4.

Tabela 3-2: Dimensão das secções da fachada lateral quando $d \leq e < 5e$

Secção	Comprimento	Largura
A	$e/5$	h
B	$d - e/5$	

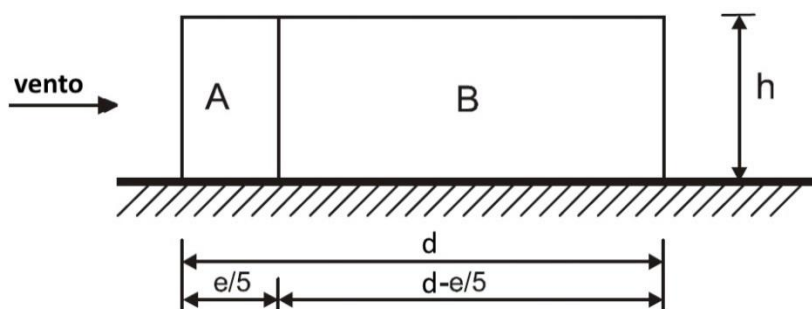


Figura 3-4: Divisão da fachada lateral quando $d \leq e < 5d$ em alçada (Fonte: adaptado [29])

- Caso (C): $e \geq 5d$

Quando o valor da variável e é superior em 5 vezes ao comprimento d da fachada passa a ter uma única secção A como se pode observar na Figura 3-5.

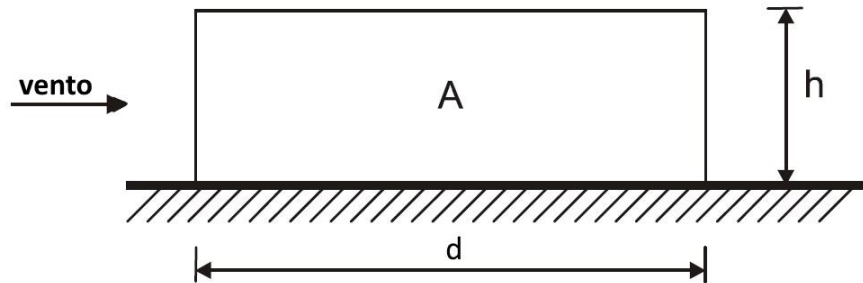


Figura 3-5: Divisão da fachada lateral quando $e \geq 5d$ em alçada (Fonte: adaptado [29])

3.2.2.2. Cobertura

Tal como a fachada lateral, a cobertura também possui diferentes secções com coeficientes de pressão médios diferentes. Utilizou-se novamente a Equação 3-4 para a obtenção da variável e e seleccionou-se o menor valor tendo em consideração a configuração do edifício.

Assim sendo, a cobertura pode ser dividida em cinco zonas distintas, com as dimensões apresentadas na Tabela 3-3 e como se pode observar na Figura 3-6.

Tabela 3-3: Dimensão das secções da cobertura

Secção	Comprimento	Largura
A1 e A3	$e/4$	$e/10$
A2	$e/2$	$e/10$
B	b	$2e/5$
C	b	$e/2$

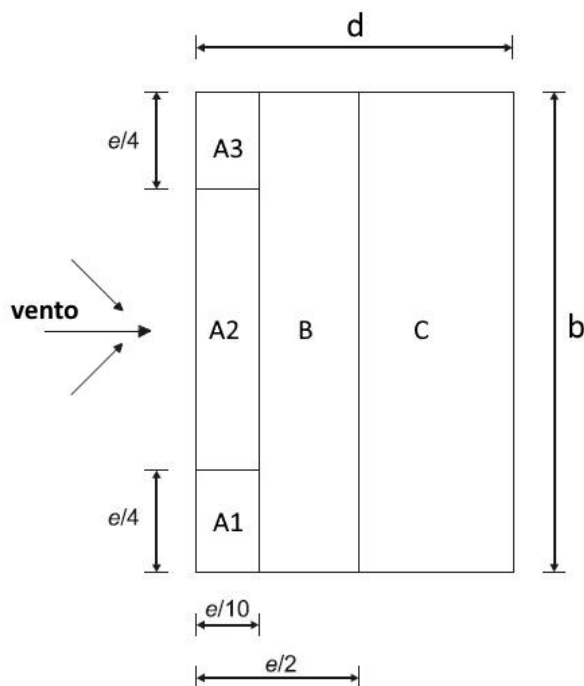


Figura 3-6: Divisão da cobertura em planta (Fonte: adaptado [29])

3.2.2.3. Fachada a barlavento e sotavento

Como já foi referido anteriormente, a fachada a barlavento foi dividida, como se pode observar na Figura 3-7, uma vez que na norma apenas se refere a variação existente em altura. Nesta situação como se pretende variar a incidência do vento, é necessário ter também uma componente que varie com a largura do edifício e não só com a altura.

Assim sendo, a fachada foi dividida em 9 zonas distintas, com as dimensões apresentadas na Tabela 3-4 e como se pode observar na Figura 3-7.

Tabela 3-4: Dimensão das secções da fachada a barlavento

Secção	Altura	Largura
A1 e A3	$h/5$	$b/4$
A2	$h/5$	$b/2$
B1, B3, C1 e C3	$2h/5$	$b/4$
B2 e C2	$2h/5$	$b/2$

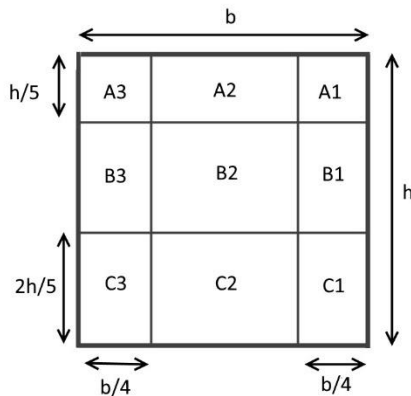


Figura 3-7: Divisão da fachada a barlavento em alçada

Para a fachada a sotavento apenas se considerou uma zona, tal como o sugerido pela norma, uma vez que não existe diferenças significativas nos valores de coeficientes de pressão nessa zona.

3.2.2.4. Aplicação da NP EN 1991-1-4/2007 - Ações em estruturas ao Modelo de Desfiladeiro Urbano

Uma vez que a direção do vento varia entre 0° e 90° foi necessário ajustar a subdivisão das fachadas que estão sujeitas à incidência do vento consoante a sua direção. Atentando à Figura 3-8, é possível observar que para as direções de vento de 0° , 30° e 45° a fachada 1, azul, representa a fachada a barlavento na qual o vento incide, a fachada 3 e 4, encarnado, as fachadas laterais na qual o vento incide transversalmente, a fachada 5, verde, a cobertura e a 2 a fachada oposta à incidência do vento. Para as direções de vento entre 60° e 90° , a caracterização das fachadas é alterada, uma vez que a fachada com uma maior área exposta à incidência do vento é a fachada 3, azul, sendo a fachada oposta à direção do vento a fachada 4, a fachada 1, encarnado, a lateral e a fachada 5, verde, mantém-se a cobertura.

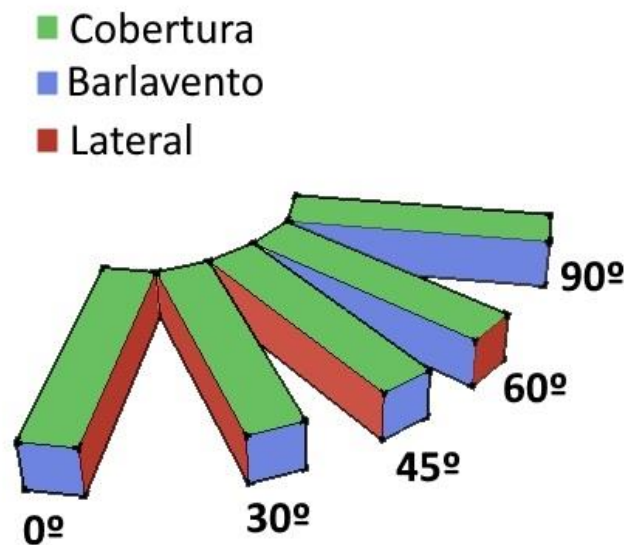


Figura 3-8: Disposição das fachadas do edifício dependendo da incidência do vento

- Direção do vento de 0° , 30° e 45° :

O vento incide na fachada 1, deste modo, as dimensões, representadas na Figura 3-2, d e b correspondem, respetivamente, ao comprimento e à largura do edifício central.

Tendo em conta as configurações do modelo do desfiladeiro urbano em estudo, é possível observar na Tabela 3-5 os valores de e para cada uma das situações. De notar que o comprimento do edifício não é considerado uma vez que não interfere no cálculo de e .

Tabela 3-5: Valores de e na fachada lateral com direção do vento de 0° , 30° e 45°

Configuração	Largura do edifício, C [cm]	Altura do edifício, H [cm]	$e = b$	$e = 2 \times h$
1	5	5	5	10
2		10	5	20
3		15	5	30
4		20	5	40

Atentando à Tabela 3-5 é possível verificar que o menor valor de e para os ensaios é 5.

Deste modo, para definir as secções a aplicar na fachada lateral é necessário comparar o valor anterior com o comprimento do edifício.

Segundo as configurações estabelecidas no subcapítulo 2.1.1.1, o edifício-central pode ter um de dois comprimentos, 25 cm ou 50 cm. Efetuando a comparação verifica-se, a aplicação do caso (A) onde, o valor da variável e é sempre inferior à variável d .

Para efetuar a divisão da fachada lateral recorreu-se deste modo ao explicitado na Tabela 3-1 e Figura 3-3.

- Direção do vento de 60° e 90°:

Para as direções 60° e 90° o vento incide na fachada 3, deste modo, d corresponde à largura do edifício e b ao comprimento.

Assim sendo, é necessário obter o valor de e para cada uma das configurações do edifício cujos valores se encontram apresentados na Tabela 3-6.

Tabela 3-6: Valores de e na fachada lateral com direção do vento de 60° e 90°

Configuração	Comprimento do edifício, l [cm]	Altura do edifício, h [cm]	$e = b$	$e = 2 \times h$
1	25	5	25	10
2		10	25	20
3		15	25	30
4		20	25	40
5	50	5	50	10
6		10	50	20
7		15	50	30
8		20	50	40

Ao contrário do que aconteceu para as configurações em que o vento incidia entre 0° a 45°, e toma diversos valores dependendo da configuração do modelo. Este foi comparado com o valor da largura do edifício, 5 cm.

Nesta situação, o valor variável e é superior à largura do edifício. Porém, existem dois casos para esta condição:

- Caso (B): $5 \leq e < 25$
- Caso (C): $e \geq 25$

Atentando à Tabela 3-6, é possível verificar que as configurações 1, 2, 5, 6, 7 e 8 correspondem ao caso (B) e por esse motivo para a divisão da fachada lateral deve ter-se em consideração a Tabela 3-2 e o esquema apresentado na Figura 3-4. Relativamente às restantes configurações, 3 e 4, aplica-se o caso (C) onde não existe divisão da fachada como se pode observar no esquema apresentado na Figura 3-5.

De notar que, quando se recorre à Figura 3-6 e à Tabela 3-3 para efetuar o seccionamento da cobertura para as situações em que $e/2 \geq 5$, apenas existe a secção H.

Capítulo 4. Análise e Discussão de Resultados

Tendo em consideração o modelo de desfiladeiro urbano descrito no Capítulo 2 e a metodologia presente no Capítulo 3 procedeu-se à análise dos dados recolhidos no decorrer das simulações efetuadas em túnel de vento.

Ao variar os parâmetros dimensionais do edifício, altura e comprimento, bem como o afastamento entre edifícios, e adicionando as 16 direções de vento, obteve-se, através da interpolação, um total de 200 figuras com a variação dos coeficientes de pressão nas quatro fachadas e cobertura do edifício de referência do modelo. As distribuições obtidas encontram-se apresentadas, apenas para $L = 25\text{cm}$, no Anexo C.

A Figura 4-1 ilustra, a título exemplificativo, os resultados da distribuição dos coeficientes de pressão para um dos ensaios de referência nas condições de altura e comprimento mínima com uma direção de vento de 0° .

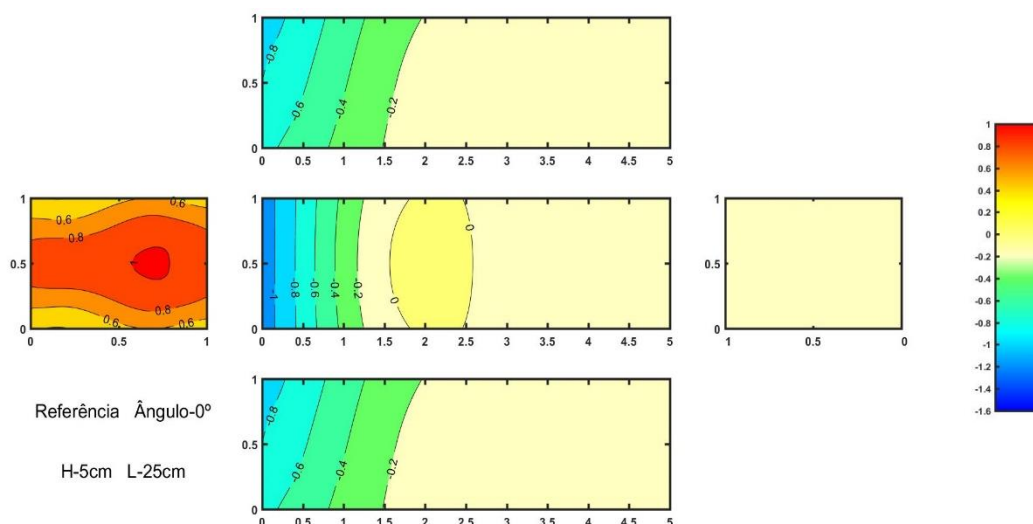


Figura 4-1: Distribuição dos coeficientes de pressão no ensaio de referência com altura e comprimento mínimos e incidência de vento de 0°

Como era expectável, a fachada número 1 a barlavento apresenta valores de C_p positivos uma vez que o vento incide directamente nessa superfície. Relativamente às fachadas adjacentes pode verificar-se a existência de valores negativos junto das arestas que fazem a ligação entre as superfícies laterais e barlavento uma vez que, nessas zonas ocorre uma forte separação do escoamento e os coeficientes de pressão tomam valores mais negativos. À medida que o escoamento se desloca ao longo da fachada lateral volta a fluir junto à superfície, aproximando-se o valor de coeficiente de pressão de 0.

A Figura 4-2 é relativa à configuração presente na Figura 4-1 mas com edifícios adjacentes e $H/W = 0.75$. Quando comparada com a figura apresentada anteriormente, deteta-se que a distribuição dos coeficientes de pressão são em módulo mais baixos, devido à existência de edifícios na periferia do de referência.

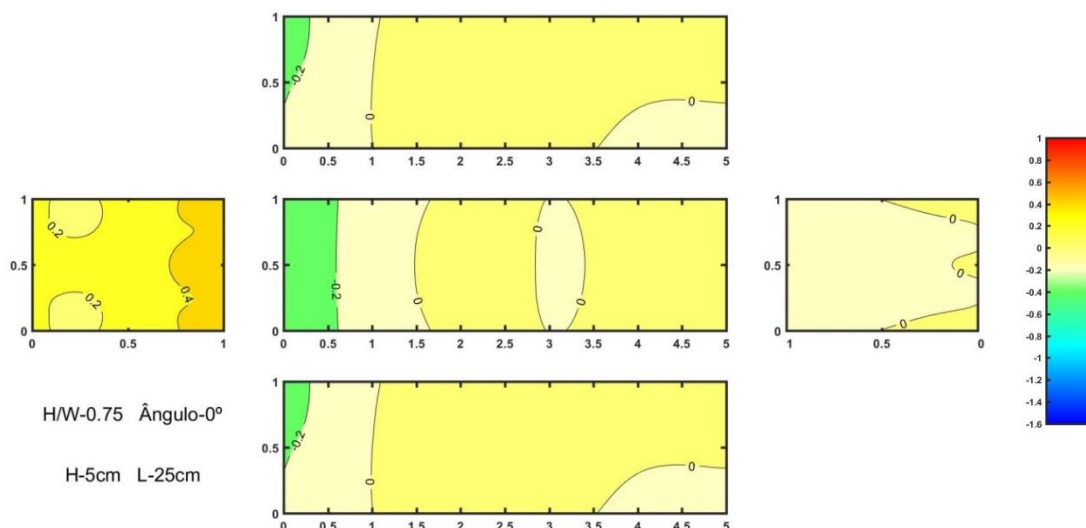


Figura 4-2: Distribuição dos coeficientes de pressão para o edifício de referência com altura e comprimento mínimos e incidência de vento de 0° com relação entre a altura e o afastamento de 0.75

Nesta situação, o fluxo de ar apresenta um regime rasante e o edifício central encontra-se mais protegido à ação direta do vento.

Deste modo, é possível verificar as diferenças de um escoamento rasante e um edifício isolado que não sofre interferências de elementos externos.

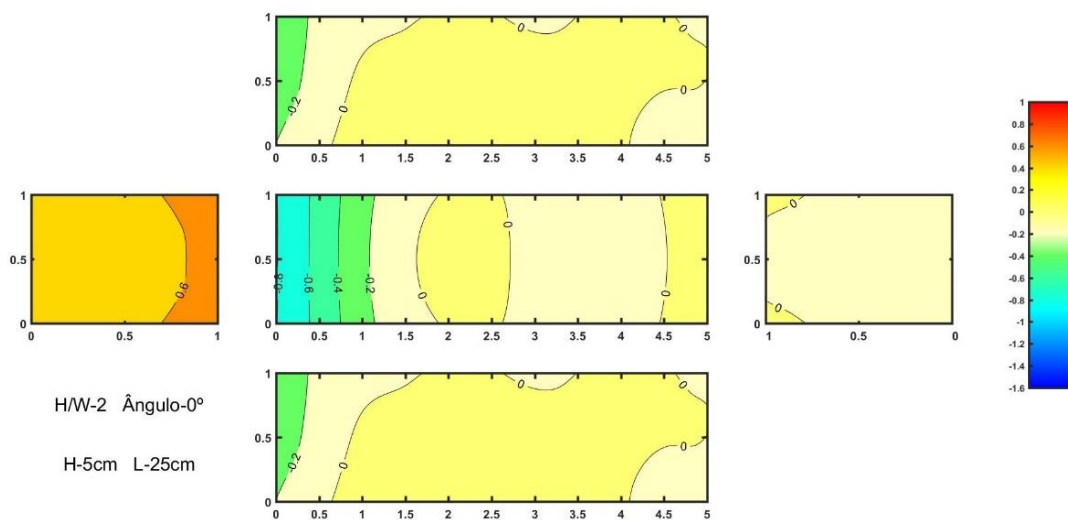


Figura 4-3: Distribuição dos coeficientes de pressão para o edifício de referência com altura e comprimento mínimos e incidência de vento de 0° com relação entre a altura e o afastamento de 2.

Na Figura 4-3, apresenta-se um caso intermédio entre as duas situações anteriores para a mesma orientação. Neste ensaio o espaçamento entre edifícios aumentou fazendo com que o escoamento deixasse de ser rasante passando a ser considerado um escoamento de interferência. Apesar de existir a influência dos edifícios adjacentes os coeficientes de pressão apresentados a barlavento e cobertura aproximam-se mais da referência, quando comparando com a Figura 4-2.

De acordo com o explicitado na secção 3.2.2, relativa à determinação dos coeficientes de pressão consoante a norma NP EN 1991-1-4/2007 - Ações em estruturas, procedeu-se à aplicação da metodologia para cada uma das 200 interpolações obtidas.

A totalidade dos valores obtidos, para cada uma das divisões dos ensaios, encontram-se resumidos no Anexo D.

Esta manipulação dos dados obtidos permitiu uma melhor comparação dos valores entre ensaios. Cada uma das interpolações consoante a direção do vento, $[0^\circ, 45^\circ]$ e $[60^\circ, 90^\circ]$, sofreu uma divisão nas fachadas e coberturas que se encontra exemplificada na Figura 4-4 e na Figura 4-5, respetivamente. A direção do vento é sempre referente à superfície 1, desta forma, deixa de fazer sentido falar em barlavento para valores acima de 45° para essa fachada, desta forma para 60° e 90° a superfície a barlavento passa a ser a número 3.

Em primeiro lugar na Figura 4-4 é possível observar a aplicação da norma à distribuição apresentada na Figura 4-1. Como já foi referido, a fachada a barlavento apresenta valores mais elevados de coeficientes de pressão- secção 1 -. As fachadas laterais e a cobertura na zona mais próxima de barlavento apresentam, em média, valores de coeficiente de pressão mais negativos e à medida que se avança ao longo do edifício os valores médios aproximam-se de zero. Tal como na fachada a sotavento.

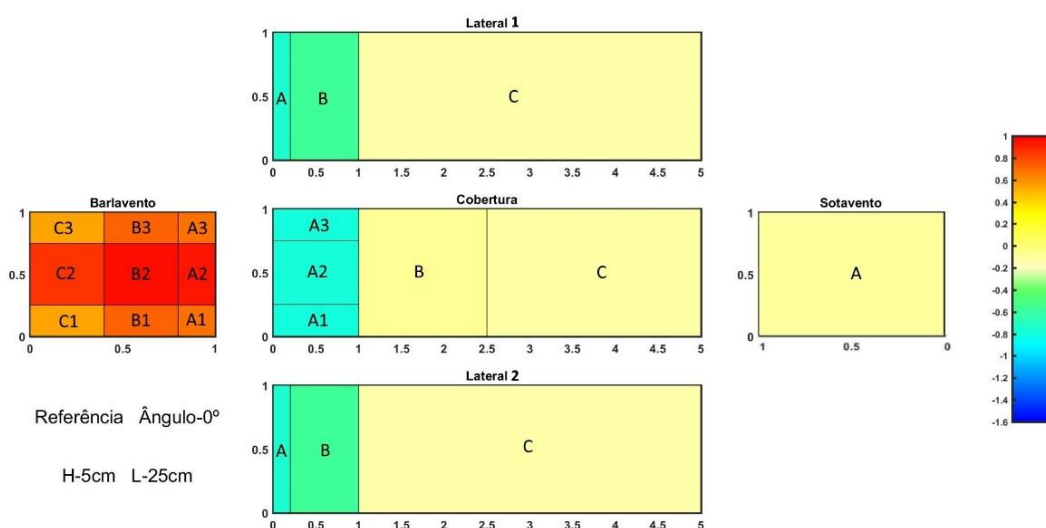


Figura 4-4: Valores médios dos coeficientes de pressão segundo a adaptação da NP EN 1991-1-4/2007 - Ações em estruturas, para o ensaio de referência com incidência do vento de 0° para uma altura e comprimento mínimo.

Na Figura 4-5 representa-se a aplicação da metodologia da norma para o caso de referência segundo a incidência de 60° . Nesta situação, a fachada a barlavento atinge valores médios de C_p mais elevados na secção 3 da fachada que será explicada com maior detalhe no decorrer do presente capítulo.

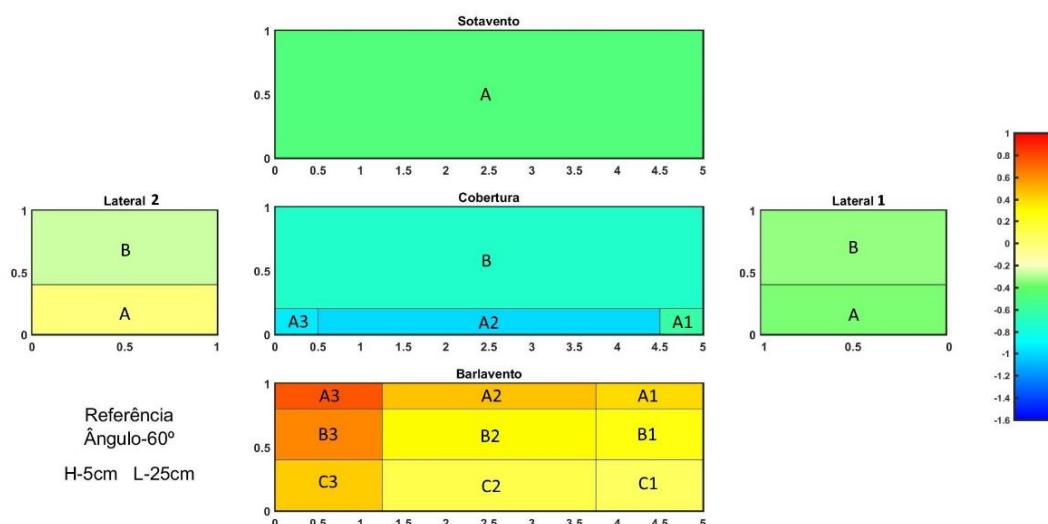


Figura 4-5: Valores médios dos coeficientes de pressão segundo a adaptação da NP EN 1991-1-4/2007 - Ações em estruturas, para o ensaio de referência com incidência do vento de 60° para uma altura e comprimento mínimo.

Com o objetivo de compreender a variação da distribuição dos coeficientes de pressão com a modificação do desfiladeiro urbano procedeu-se a uma análise de três parâmetros relacionais das dimensões do edifício bem como da variação da incidência do vento no modelo.

Como foi referido no subcapítulo 1.1.2 criou-se uma variável adimensional que relaciona o afastamento entre o edifício de referência e os adjacentes e a altura (W/H).

Para compreender melhor o impacto das diferentes larguras dos desfiladeiros, gerou-se um gráfico para cada das orientações de cada uma das fachadas onde se apresenta o valor de C_p médio para os vários W/H . Nas Figura 4-6, Figura 4-8 e Figura 4-9 apresentam-se os valores médios de coeficiente de pressão atingidos e o seu valor de referência, quando o edifício se encontra isolado.

Deste modo, é possível observar a gama de coeficientes de pressão para um desfiladeiro que se aproxime mais de uma avenida ou de um desfiladeiro profundo.

• Barlavento

Na zona a barlavento os valores de coeficientes de pressão são mais elevados, uma vez que é a zona onde o vento incide diretamente e é visível o efeito que os edifícios adjacentes tem na ação do vento.

De referir que de 0° a 45° a superfície 1 corresponde a barlavento, como presente na Figura 4-4. Para os restantes ensaios, 60° e 90°, representados na Figura 4-5, barlavento é a superfície 3.

Na Figura 4-6 estão representados os valores obtidos em todos os ensaios. O afastamento é proporcional ao valor dos coeficientes de pressão, para esta fachada, significando que quanto mais profundo for o desfiladeiro, mais próximos ficam os coeficientes de pressão do ensaio de referência. Existem ainda assim, algumas variações particulares de cada ensaio.

Seria de esperar que para os casos em que os ângulos de incidência são 0° e 90° os gráficos fossem semelhantes uma vez que a superfície 1 e 3, respetivamente, estão ambas viradas a barlavento. Isto não acontece visto a área dessas superfícies ser diferente, sendo entre 5 a 10 vezes superior no segundo caso. Esta diferença de áreas faz com que exista um obstáculo maior ao vento e que os C_p atinjam valores negativos para a superfície 3 quando esta tem um edifício na sua frente. O mesmo se pode verificar quando se compara os valores do ensaio para os 60° e os ensaios para 30° e 45°.

Uma das particularidades desta secção encontra-se nos 30° e 45° onde os valores de algumas zonas chegam até a ultrapassar o valor de referência, principalmente para as zonas A3, B3, C3.

Para 0° a zona A1, B1 e C1 toma valores iguais à zona A3, B3, C3.

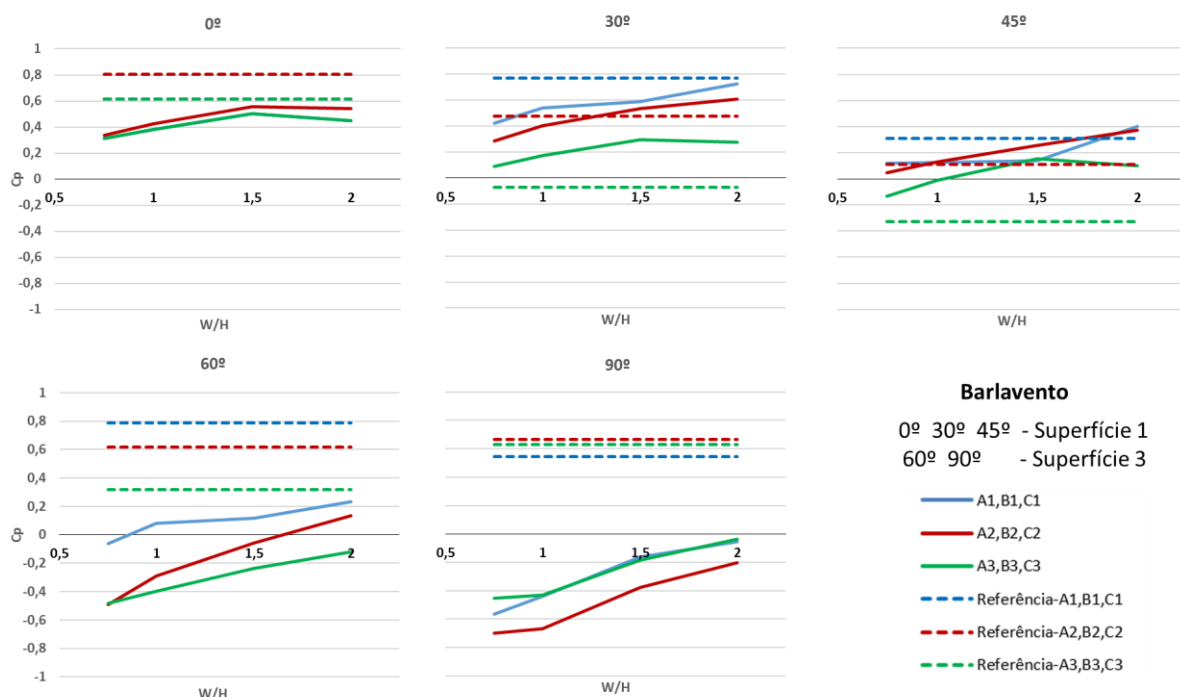


Figura 4-6: Variação média dos coeficientes de pressão com o afastamento entre edifícios para a fachada a barlavento.

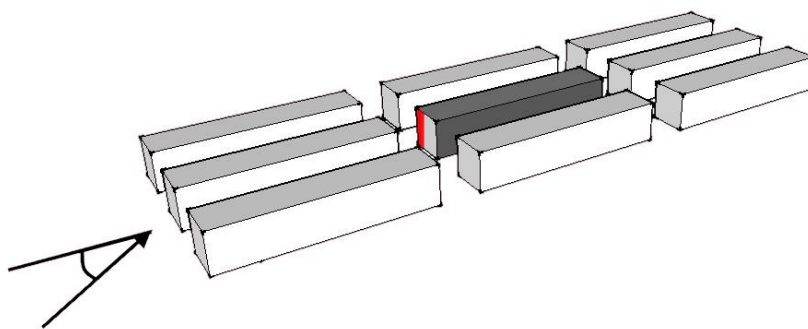


Figura 4-7: Esquema representativo do modelo de desfiladeiro urbano com a localização das secções A3, B3 e C3 para as orientações 0°, 30° e 45°.

A Figura 4-7 ilustra a localização, no edifício de referência, das secções A3, B3, C3 representadas a vermelho. No ensaio de referência estas secções atingiam valores negativos. Com o condicionamento da envolvente e devido ao efeito dos desfiladeiros urbanos atingem valores significativamente superiores que vão aumentando com o afastamento.

• Laterais

Nas superfícies laterais, os coeficientes de pressão são geralmente negativos. Como se pode observar na Figura 4-4 e Figura 4-5, existe uma nomenclatura diferente para cada uma das laterais. A lateral denominada por 1 representa a fachada mais próxima de sotavento e a lateral 2 representa a fachada que

está mais sujeita à incidência do vento. Para os casos de 0° e 90° em que não existe esta diferença, os valores são iguais para ambas as laterais.

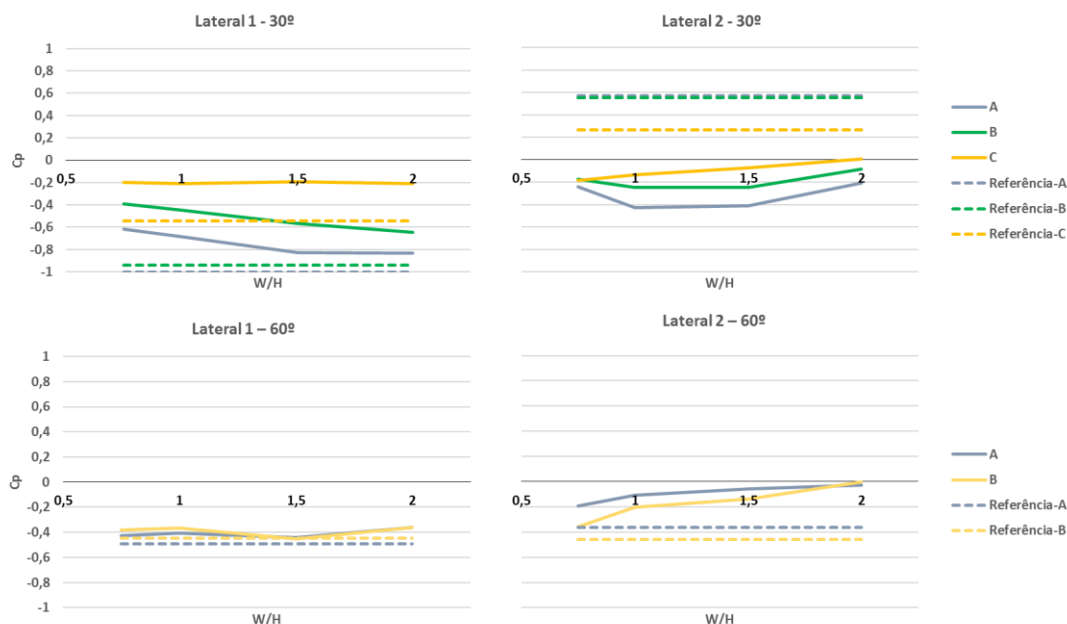


Figura 4-8: Variação média dos coeficientes de pressão com o afastamento entre edifícios para as fachadas laterais para as orientações 30° e 60° .

Na Figura 4-8, pode verificar-se que para um vento com uma direção de 30° e 60° na lateral 1 os valores de coeficientes de pressão são negativos e que à medida que aumenta o afastamento aproximam-se dos valores de referência. Para 60° , os coeficientes de pressão para a lateral são sempre negativos, ao contrário do que acontece para a lateral 2 onde para 30° a referência é positiva. Isto acontece uma vez que para 60° as laterais correspondem à superfície 1 e 2 e estas são significativamente inferiores à fachada a barlavento. Para a lateral 2 com uma incidência de vento com 30° observa-se a influência da envolvente criada pelos edifícios adjacentes, isto porque o ensaio de referência tem coeficientes de pressão superiores aos restantes ensaios, apesar de esta distância ser reduzida à medida que o espaçamento aumenta.

- **Sotavento**

Na zona a sotavento, a relação afastamento/altura revelou uma alteração substancial na distribuição dos coeficientes de pressão para esta fachada, existindo sempre valores negativos, que em módulo, são sempre inferiores aos registados para o ensaio de referência.

- **Cobertura**

No que diz respeito à cobertura, esta não sofre grandes alterações com o aumento do espaçamento, tal como acontece a sotavento. Mais uma vez registam-se valores sempre inferiores, em módulo, ao ensaio de referência.

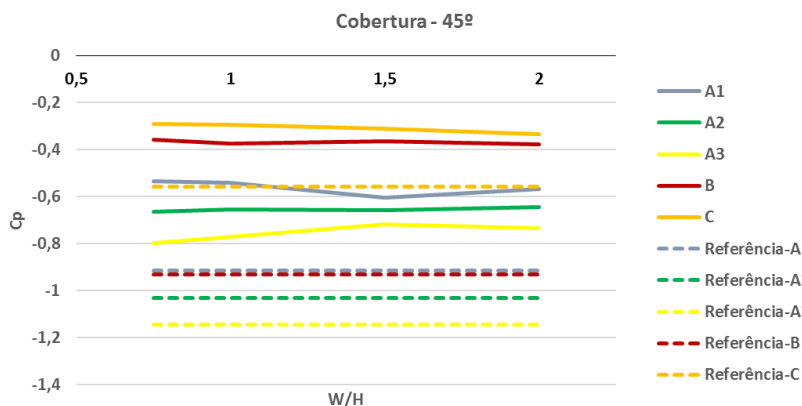


Figura 4-9: Variação média dos coeficientes de pressão com o afastamento entre edifícios para a cobertura para a orientação de 45°.

Como exemplo apresentam-se os valores dos coeficientes de pressão da cobertura para 45° onde é possível visualizar o referido anteriormente, sendo importante de notar que à medida que a zona se afasta de barlavento, o seu valor em módulo vai reduzindo. Sendo a secção A3 mais próxima do canto onde incide o vento, esta atinge o valor mais negativo.

Em segundo lugar, e após a análise da influência da variação do afastamento entre edifício nos resultados, abordou-se o impacto da relação entre a altura e a largura do edifício, H/C , mantendo-se esta última constante ao longo de todos os ensaios, como referido anteriormente.

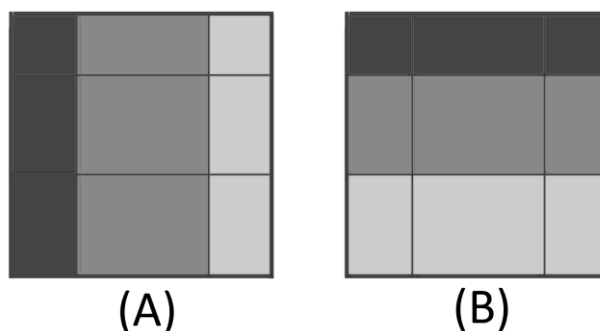


Figura 4-10: Secções criadas para Barlavento. (A)-Secções verticais. (B)-Secções Horizontais.

Segundo a norma NP EN 1991-1-4/2007 - Ações em estruturas, a fachada a barlavento é a única que deve ser analisada tendo por base a altura, desta forma agruparam-se as zonas desta fachada em 3 novas zonas com alturas diferentes. Deste modo, ao contrário da avaliação anterior em que para a fachada a barlavento, Figura 4-6, as 3 secções se dividiram em: A1, B1 e C1; A2, B2 e C2; A3, B3 e C3. (Figura 4-10-a). Nesta abordagem estas encontram-se divididas na vertical, ou seja, A1, A2 e A3; B1, B2 e B3; C1, C2 e C3 (Figura 4-10-b). Ensaïaram-se 4 alturas diferentes de edifícios. Os gráficos apresentados em seguida representam a variação das 3 secções à medida que a relação entre a altura e a largura do edifício vai aumentando.

Ao analisar a Figura 4-11, pode retirar-se que a variação de C_p com H/C apresenta uma forte dependência da incidência do vento.

Para uma incidência de 0°, 30° e 45° a superfície a barlavento apresenta 3 comportamentos distintos.

- Para a primeira incidência, 0°, é nítido que os coeficientes de pressão aumentam regularmente com a altura. Por outro lado, não existe qualquer relação com o formato do edifício, isto é, com

o aumento de H/C o edifício fica mais esbelto e isso não se revelou um fator importante para esta orientação.

- Na segunda incidência, 30° , os valores estão sempre na gama dos -0.4 e não existe grande variação com o aumento da altura em relação à largura. Ao contrário do que acontecia quando as secções eram diferentes Figura 4-6, onde se vê uma diferença significativa das linhas do gráfico.
- Por ultimo, nos 45° , apresenta resultados interessantes, uma vez que é o único desta superfície que apresenta uma variação com H/C e que demonstra que para edifícios mais estreitos, as zonas mais baixas atingem valores bem acima dos valores de referência. Para uma análise mais pormenorizada da variação da presente configuração criou-se a Figura 4-12 na situação em que o modelo possui um comprimento máximo juntamente com a variação do afastamento dos edifícios. Observa-se no conjunto das 5 distribuições que com o aumento do espaçamento entre edifícios é visível no centro de cada distribuição a criação de uma zona com elevados coeficientes de pressão.

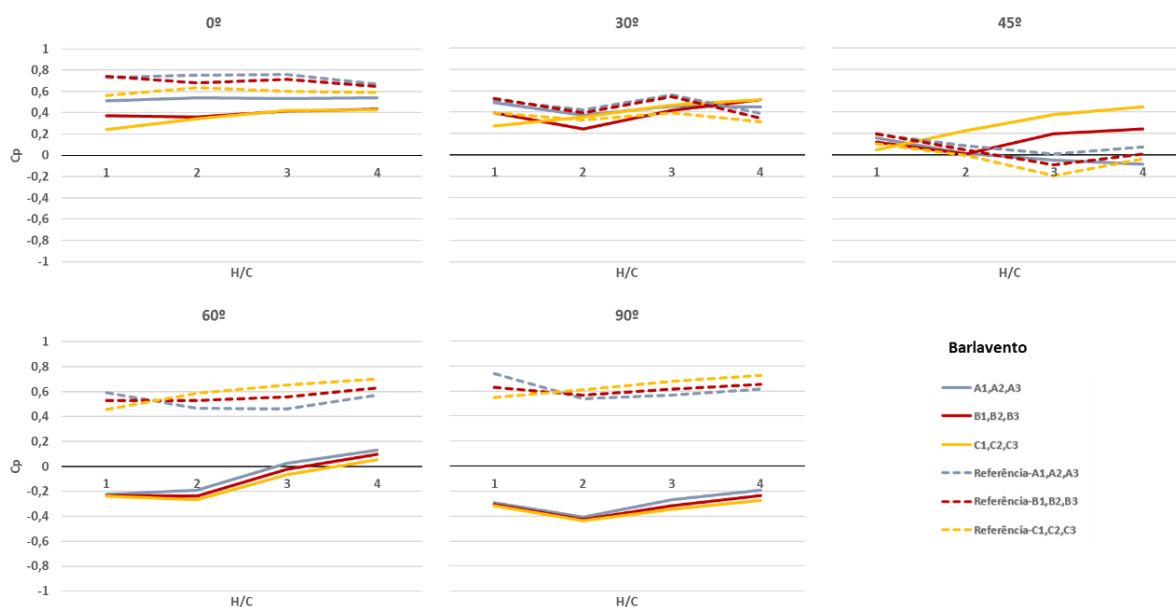


Figura 4-11: Variação média dos coeficientes de pressão com a relação entre a altura e a largura dos edifícios para a fachada a barlavento.

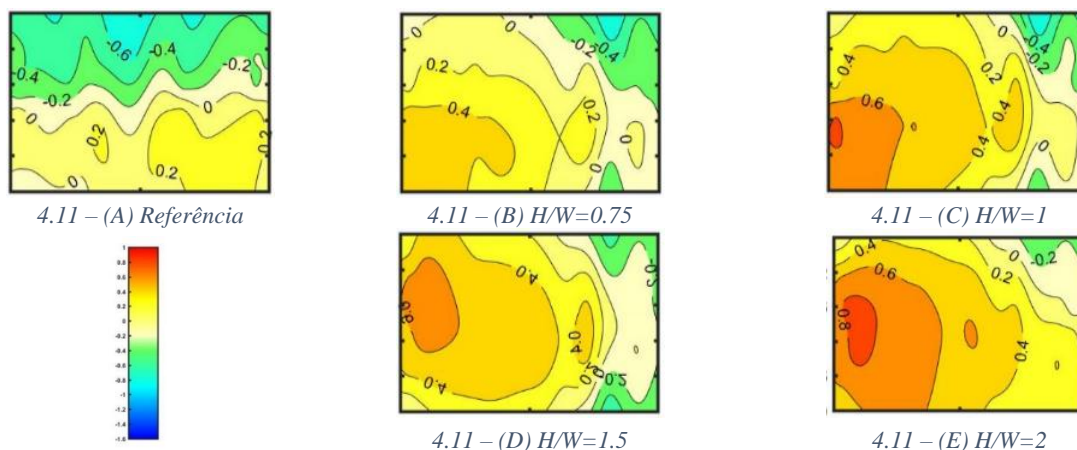


Figura 4-12: Distribuição dos coeficientes de pressão para uma configuração com o comprimento e altura máxima para uma orientação de 45° para a fachada a barlavento fazendo variar o afastamento entre os edifícios.

Ainda referente à Figura 4-11 para as distribuições referentes às orientações de 60° e 90°, é possível observar que existe uma maior estabilidade não ocorrendo variações substanciais nem em altura nem com o estreitamento do edifício. Isto deve-se, provavelmente, ao facto da fachada não ser afetada pela variação da largura do edifício, principalmente para os 90° quando o vento incide diretamente. Nos 60°, apenas se consegue identificar um ligeiro aumento do valor médio de C_p devido ao estreitamento dos edifícios.

Depois da análise dos parâmetros W/H e H/C , surge o parâmetro de caracterização de um desfiladeiro urbano abordado na secção 1.1.2, a relação entre o comprimento e a altura do edifício, L/H . Nesta abordagem será efetuada uma comparação com o cenário de referência apenas para a incidência de vento de 0° uma vez que, quando o ângulo de incidência muda, o comportamento no interior do desfiladeiro torna-se difícil de comparar com o ensaio de referência. Desta forma torna-se mais compreensível analisar as variações existentes comparando apenas os quatro cenários de espaçamento entre blocos.

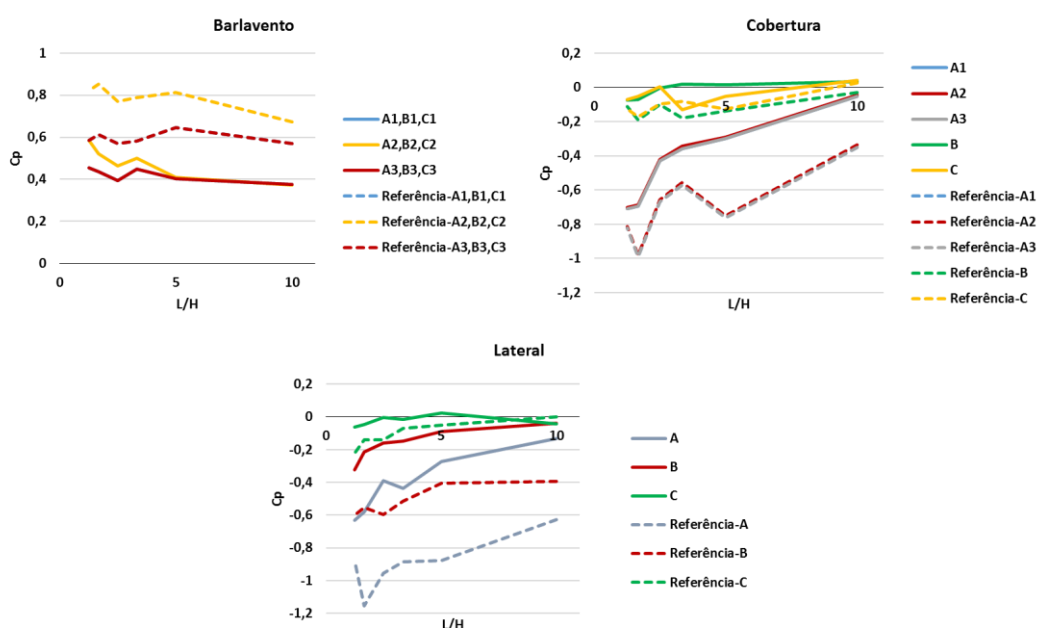


Figura 4-13: Variação média dos coeficientes de pressão com a relação entre o comprimento e a altura dos edifícios para os ensaios de referência com orientação de 0°

Na Figura 4-13 encontra-se representada a variação dos coeficientes de pressão à medida que o desfiladeiro urbano muda a sua configuração entre $1.25 \leq L/H \leq 10$, para o ângulo de incidência do vento de 0°. Pode observar-se que à medida que o desfiladeiro se torna mais longo os valores médios de C_p registados aproximam-se de zero para a cobertura e para as laterais.

Para a fachada a barlavento, não se registam alterações significativas uma vez que esta secção para uma orientação de 0° não varia com o comprimento sendo a distribuição média dos coeficientes de pressão quase coincidente. A zona A1, B1 e C1 toma valores iguais à zona A3, B3, C3. Tal como A1 e A3 para a cobertura.

Quando se compara as diferentes configurações com o valor de referência, é possível constatar que o comportamento é semelhante com uma significativa diminuição em módulo do valor dos coeficientes, como foi possível constatar anteriormente. É também visível na zona lateral que quanto mais perto a secção está de barlavento, mais negativo é o valor, atingindo valores bastante negativos para a secção A.

Após a primeira análise desta relação para uma incidência de 0° , é necessário efetuar para as diferentes fachadas para os restantes ângulos de incidência, onde o escoamento se torna mais imprevisível no interior do desfiladeiro urbano.

• Barlavento

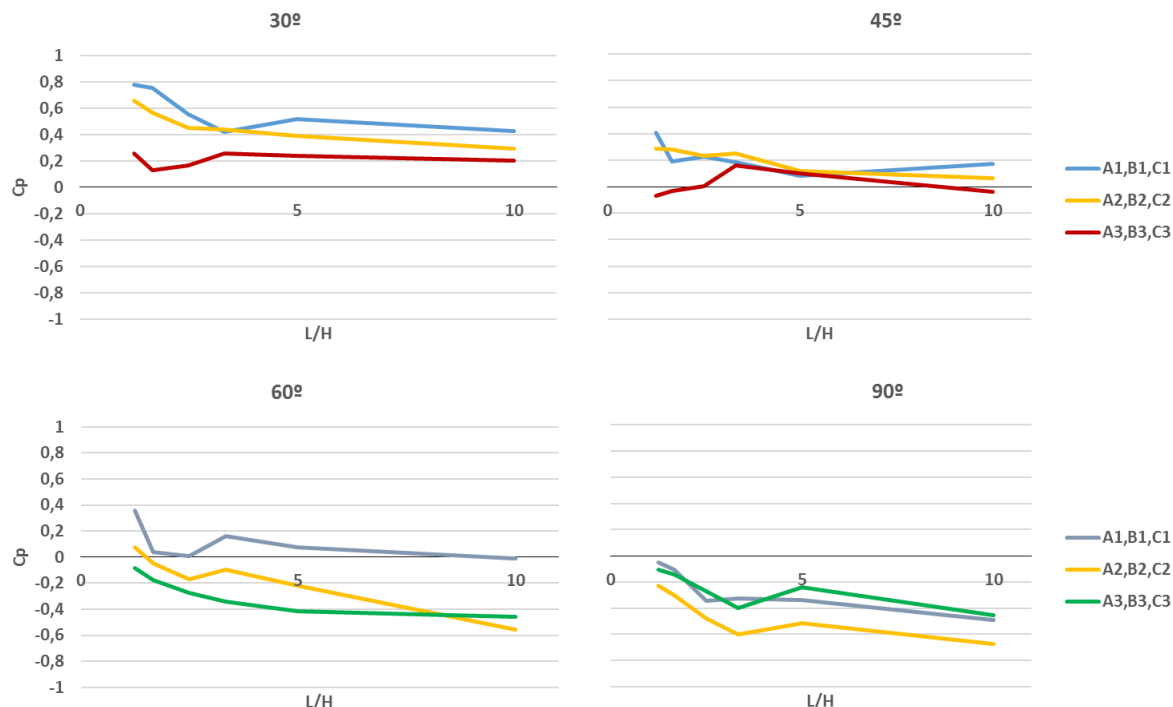


Figura 4-14: Variação média dos coeficientes de pressão com a relação entre o comprimento e a altura dos edifícios para a fachada a barlavento com orientação de 30° , 45° , 60° e 90° .

Para barlavento, Figura 4-14, consegue-se verificar com bastante clareza que os desfiladeiros pequenos ($L/H < 3$) se comportam de forma particular e que para valores maiores de L/H que existe uma maior estabilidade na gama de valores médios de C_p . Como seria de esperar, quando o vento incide na superfície 3, para uma direção de 60° e 90° , observa-se a influência do comprimento do desfiladeiro, obtendo valores mais negativos de coeficientes de pressão para desfiladeiros urbanos mais longos. Isto acontece, uma vez que o obstáculo ao escoamento causado pelos edifícios adjacentes é superior.

- Cobertura

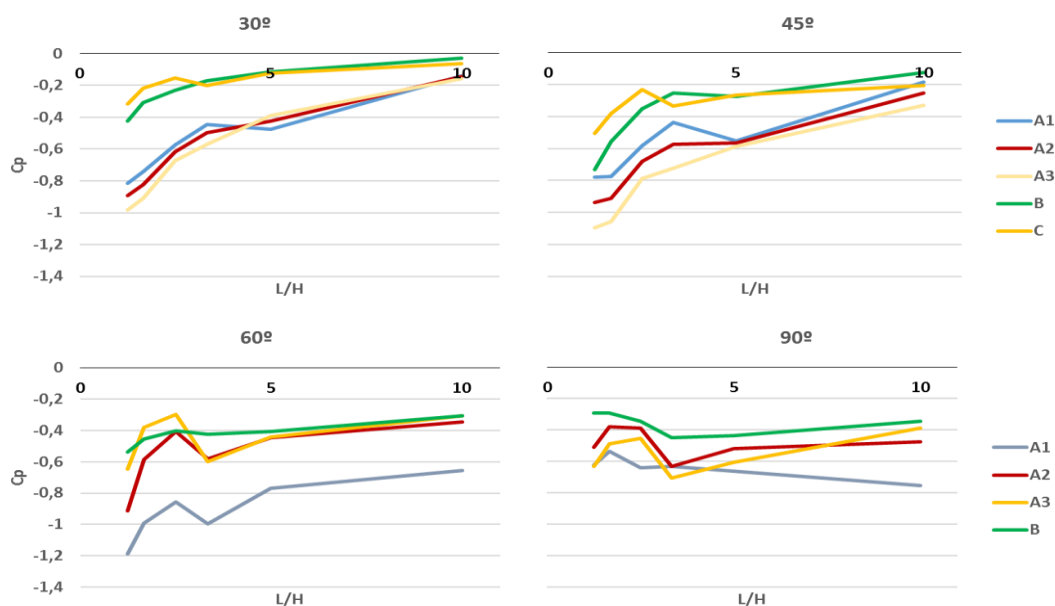


Figura 4-15: Variação média dos coeficientes de pressão com a relação entre o comprimento e a altura dos edifícios para a cobertura com orientação de 30°, 45°, 60° e 90°

Na cobertura, Figura 4-15, o comportamento é semelhante ao encontrado na Figura 4-13 para 0°. Apenas a incidência de 90° apresenta resultados diferentes do que era expectável uma vez que se denota uma diferença significativa entre A1 e A3, quando estes deveriam obter valores semelhantes. Isto poderá dever-se à falta de tomadas de pressão na cobertura que poderá ter levado à leitura incorreta para esta zona.

Para as restantes secções, os valores médios de C_p são bastante constantes, não havendo variações significativas ou alterações relevantes de assinalar.

Existe uma dificuldade inerente à análise da evolução das zonas laterais para os ensaios de 60° e 90° uma vez que as fachadas laterais para estas orientações possuem uma área reduzida, obtendo sempre valores médios negativos de coeficientes de pressão na ordem dos -0.4 . Já para a lateral 2, os valores fixam-se sempre entre 0 e os -0.4 não existindo uma variação constante com a alteração do desfiladeiro urbano.

Finalizada a análise dos parâmetros adimensionais definidos é possível verificar que a superfície 1, Figura 4-4, se revelou a que sofre uma maior influência dos edifícios envolventes comparando com os ensaios de referência. Desta forma, decidiu-se analisar 3 zonas para abranger todas as partes da fachada dessa superfície com o objetivo de demonstrar a variação dependendo da incidência do vento.

As zonas que se seleccionou para uma análise mais detalhadas encontram-se apresentadas a sombreado na Figura 4-16:

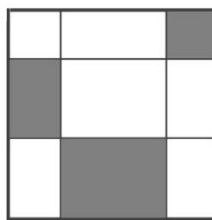


Figura 4-16: Secções da superfície 1 selecionadas para a avaliação do impacto da variação da incidência do vento

De notar que as dimensões das secções e respetivas localizações na superfície são iguais às definidas no capítulo 3.2.2. mas as zonas serão sempre referentes à superfície 1 e não mudam com a orientação como acontecia anteriormente.

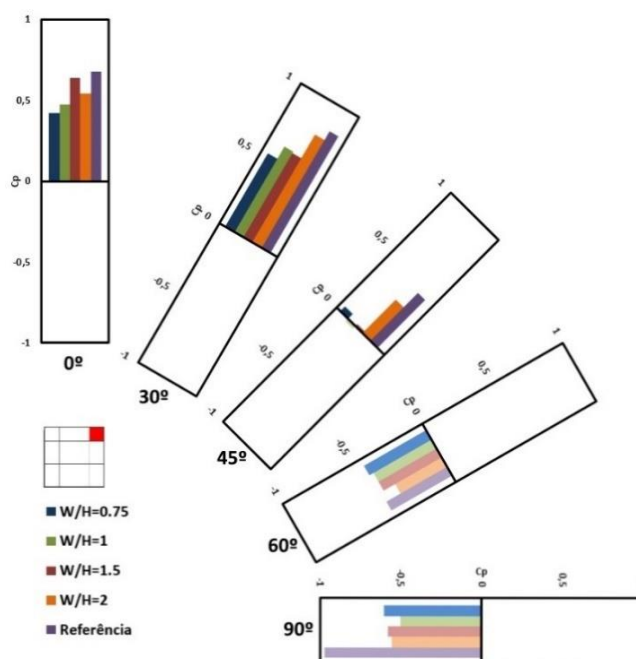


Figura 4-17: Variação dos coeficientes de pressão com a orientação para a primeira secção.

A primeira secção situa-se no canto superior direito da superfície 1, inicialmente a barlavento e deslocando-se para a lateral. É visível na Figura 4-17 que o ensaio de referência atinge os valores mais extremos, o valor máximo positivo registado no ensaio de referência é referente aos 30° superando assim o valor registado para 0°, e o mais negativo para 90°. Os restantes ensaios comportam-se todos de igual forma, aproximando-se do de referência à medida que o espaçamento aumenta. Quando se atinge os 60°, todos os valores obtidos para esta superfície são negativos e bastante uniformes excetuando o ensaio de referência.

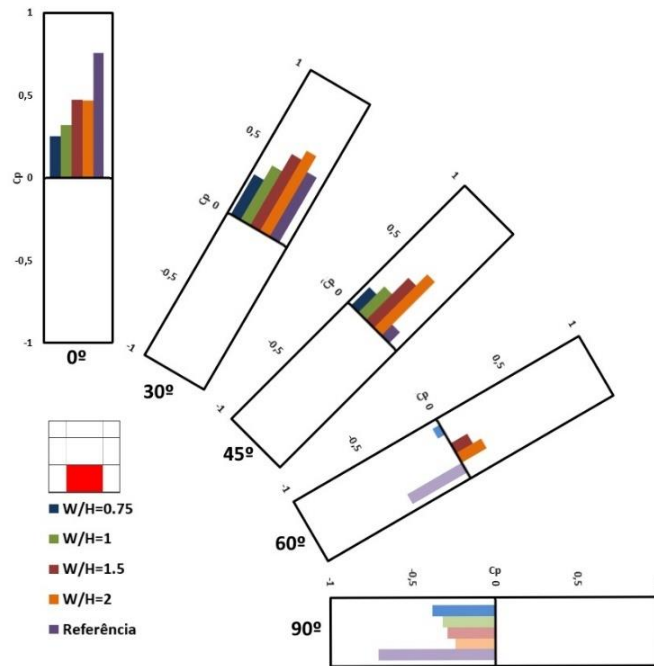


Figura 4-18: Variação dos coeficientes de pressão com a orientação para a segunda secção.

Atentando à Figura 4-18 encontra-se representado a variação dos valores médios de coeficiente de pressão para a secção inferior central. Quando orientada a 0° a fachada encontra-se protegida pela envolvente, desta forma existe uma maior diferença relativamente ao ensaio de referência. Nos 30° e 45° esta representado o comportamento visto na Figura 4-11 e Figura 4-12, mostrando, como referido anteriormente, que esta zona apresenta valores superiores para os ensaios com edifícios adjacentes quando comparando com o de ensaio de referência. É possível observar que essa diferença aumenta juntamente com o espaçamento. É possível verificar que para 60° existem valores positivos ao contrário do que se verifica nas outras áreas analisadas para esta orientação.

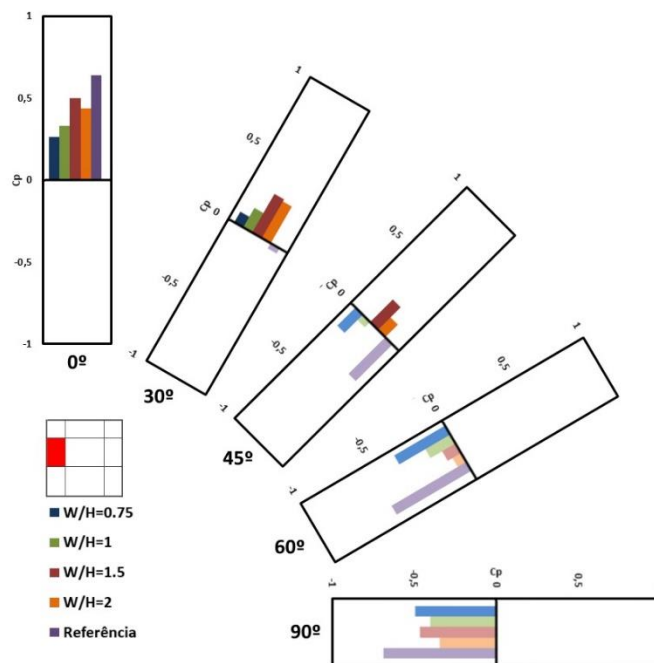


Figura 4-19: Variação dos coeficientes de pressão com a orientação para a terceira secção.

Por último, Figura 4-19 referente à secção central esquerda, onde o comportamento espectável é o apresentado nos gráficos da Figura 4-6 referentes às orientações de 0° , 30° e 45° , para as secções A3, B3, C3. Apesar de nos gráficos estar representada uma média de todas as secções desse lado, e neste diagrama estar apenas representada a secção do meio pode-se observar o mesmo comportamento uma vez que o valor de referência é negativo ao contrário dos restantes. Para 45° , 60° e 90° , o comportamento é semelhante só que com valores mais negativos. É possível observar que para esta secção, à exceção de 0° , os valores médios dos coeficientes de pressão afastam-se do valor de referência à medida que o afastamento aumenta.

Capítulo 5. Conclusão

O estudo da ação do vento nos desfiladeiros urbanos desenvolvido nesta dissertação é uma forma de compreender a influência na distribuição de pressão nas fachadas em zonas urbanas. Os ensaios em túnel de vento mostraram ser uma excelente forma de procedimento, uma vez que permitem simular de forma correta cada cenário criado, obtendo valores de coeficientes de pressão para todas as fachadas. Este tipo de estudo é cada vez mais necessário dentro das grandes cidades devido às crescentes preocupações com a ventilação natural, não só para melhorias a nível da QAI, bem como para melhorar o conforto térmico dos ocupantes do edifício.

Este estudo poderá ser utilizado de forma a complementar a informação presente na NP EN 1991-1-4/2007 - Ações em estruturas, que neste aspeto apenas inclui resultados para um edifício isolado e com uma incidência do vento de 0°. A norma não tem como fim o estudo da ventilação natural, mas sim a segurança das estruturas. A criação de uma base de dados maior e mais completa é imperativo, quando o objetivo é a ventilação natural, de forma a que a seleção de valores seja bastante próxima dos valores existentes na realidade.

A utilização das zonas existentes na norma, completada com a criação de mais detalhe na fachada a barlavento, revelou-se ser correta dando total conhecimento sobre os coeficientes de pressão para a fachada em análise e permitindo a comparação entre ensaios.

O modelo testado em túnel de vento é constituído por um total de 8 blocos de acrílico, onde foram colocadas 124 tomadas de pressão, 94 colocados na superfície 4, 22 na superfície 1 e apenas 8 na cobertura. Sendo as tomadas de pressão colocadas na cobertura um ponto a melhorar, uma vez que o escoamento é de difícil caracterização nessa superfície.

Os desfiladeiros urbanos podem ser caracterizados de duas formas, como descrito no subcapítulo 1.1.2:

- Tendo por base a relação entre o comprimento e a altura (L/H), onde se dividem em pequenos, médios e longos.
- Utilizando a relação entre a altura e o espaçamento (H/W), sendo caracterizados em avenida, desfiladeiro regular e desfiladeiro profundo.

Conclui-se com esta dissertação que, com o aumento o espaçamento entre edifícios, estes se aproximam cada vez mais da referência (edifício isolado), principalmente quando a área da superfície onde o vento incide é mais pequena (superfície 1 - 0°, 30° e 45°). Quando esta aumenta (superfície 3 - 60° e 90°), seria provavelmente necessário um espaçamento ainda maior entre edifícios para se visualizar um comportamento semelhante ao ensaio de referência.

Por outro lado, temos a relação entre o comprimento e a altura. Nesta caracterização foi possível observar que, para desfiladeiros pequenos, o comportamento é ligeiramente diferente o que resulta em coeficientes de pressão maiores em módulo, tanto para a fachada a barlavento (mais positivos), como para a cobertura e laterais (mais negativos). À medida que esta relação aumenta, e o comprimento aumenta em relação à altura, observa-se uma maior estabilidade nos resultados obtidos, sendo possível ver uma tendência para um determinado valor para quase todas as evoluções obtidas nesta análise.

Outro dos aspetos que se teve em conta foi a variação em altura existente na fachada a barlavento. Este foi um dos aspetos mais importantes, uma vez que foi possível concluir que, para incidências de 0° e 90°, os coeficientes de pressão aumentam com a altura. No entanto, para 30° e 60° esse aspeto deixa de ser notório, passando até a ser contrário para 45° quando a altura é superior à largura do edifício.

Referências

- [1] Agência Portuguesa do Ambiente, “Qualidade do Ar Interior,” [Online]. Available: <http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=82&sub2ref=319>. [Acedido em 10 outubro 2016].
- [2] Parlamento Europeu e o Conselho Da União Europeia, “Diretiva 2002/91/CE - Desempenho Energético dos Edifícios,” *Jornal Oficial das Comunidades Europeias*, pp. 65-71, 2003.
- [3] Agência Portuguesa do Ambiente, “Qualidade do Ar Interior: Enquadramento legal,” [Online]. Available: <http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=82&sub2ref=319&sub3ref=340>. [Acedido em 10 outubro 2016].
- [4] Ministério da Economia e da Inovação, “Decreto-Lei n.º 78/2006,” *Diário da República - 1.ª Serie A*, vol. 67, pp. 2411-2414, 4 de abril de 2016.
- [5] Parlamento Europeu e do Conselho da União Europeia, “Directiva 2010/31/UE - Desempenho Energético dos Edifícios (Reformulação),” *Jornal Oficial da União Europeia*, vol. 153, pp. 13-35, 18 de junho de 2010.
- [6] Dimitroulopoulou C., “Ventilation in European dwellings: A review,” *Building and Environment*, vol. 47, pp. 109-125, 2012.
- [7] Universidade de Aveiro - IDAD, “Projectos de Qualidade do Ar Interior,” [Online]. Available: <http://www.ua.pt/idad/page/9384>. [Acedido em 12 outubro 2016].
- [8] J. Ginja, C. Borrego, M. Coutinho, C. Nunes, M. Morais-Almeida, “Qualidade do ar interior nas habitações Portuguesas,” em *Congresso de Inovação na Construção Sustentável*, Aveiro, 2012.
- [9] Ministérios do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, da Saude e da Solidariedade, Emprego e Segurança Social, “Portaria n.º 353-A/2013,” *Diário da República, 1.ª série*, vol. 235, pp. 6644-(2) - 6644-(9), 4 de dezembro de 2013.
- [10] Ministério da Economia e do Emprego, “Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013,” *Diário da República, 2.ª série*, vol. 234, pp. 35088-(58) - 35088-(87), 3 de dezembro de 2013.
- [11] Instituto Português da Qualidade, “NP1037-1: Ventilação de Edifícios com ou sem aparelhos a gás. Parte 1: Edifícios de Habitação Ventilação Natural,” 2015.
- [12] “Chapter 27: Ventilation and Infiltration,” em *ASHRAE Handbook—Fundamentals (SI)*, 2005, pp. 27.5 - 27.12.
- [13] INE e DGEG, *Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico*, 2010.
- [14] Climate Protection Partnership Division U.S., “Chapter 1: Urban Heat Island Basics,” em *Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies*, outubro 2008, pp. 1-19.
- [15] US Environmental Protection Agency, “Heat Island Effect,” [Online]. Available: <https://www.epa.gov/heat-islands>. [Acedido em 26 novembro 2016].

- [16] B. Richardson, "Inside Washington, D.C.'s urban heat island effect," The Washington Post, 21 novembro 2013. [Online]. Available: <https://www.washingtonpost.com/news/capital-weather-gang/wp/2013/11/21/inside-washington-d-c-s-urban-heat-island-effect/>. [Acedido em 26 novembro 2016].
- [17] United States Environmental Protection Agency, "Smart Growth and Urban Heat Islands," *Smart Growth Network*, EPA 430-F-03-001.
- [18] F. M. d. Silva, "3. O vento," em *Ventilação Natural de Edifícios: Turbulência atmosférica*, pp. 93 - 204.
- [19] F. M. d. Silva, *Aula de Aerodinâmica - Camada Limite Atmosférica*, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 2014.
- [20] S. N. Gosling, E. K. Bryce, P. G. Dixon, K. M. A. Gabriel, E. Y. Gosling, J. M. Hanes, D. M. Hondula, L. Liang, P. A. B. M. Lean, S. Muthers, S. T. Nascimento e M. Petrall, "A glossary for biometeorology," *Internacional Journal of Biometeorology*, vol. 58(2), p. 277–308, 2014.
- [21] M. Pinto, F. M. d. Silva e V. Freitas, "Modelos Preditivos para Ventilação Natural," em *Revista Científica Nacional nº14*, Porto, Publindústria, 2005, pp. 33-38.
- [22] R. Ramponi, B. Blocken, L. B. d. Coe e W. D. Janssen, "CFD simulation of outdoor ventilation of generic urban configurations," *Building and Environment*, vol. 92, pp. 152 - 166, 2015.
- [23] P. M. Klein e R. Berkowicz, "The influence of street architecture on flow and dispersion in street canyons," *Meteorology and Atmospheric Physics*, vol. 87, pp. 121-131, setembro de 2004.
- [24] L. J. Hunter, I. D. Watson e G. T. Johnson, "Modelling Air Flow Regimes in Urban Canyons," *Energy and Buildings*, Vols. %1 de %215-16, pp. 315-324, 1991.
- [25] S. Ahmed e A. Bharat, "Wind Field Modifications in Habitable Urban Areas," *Current World Environment*, vol. 7(2), pp. 267-273, 2012.
- [26] "Decreto-Lei n.º 38/382: Regulamento Geral Das Edificações Urbanas: Artigo 60º," 7 de Agosto de 1951.
- [27] LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil, "Infraestrutura de Investigação: Tunel de Vento," [Online]. Available: <http://www.lnec.pt/pt/investigacao/infraestruturas-de-investigacao/tuneis-de-vento/>. [Acedido em 12 setembro 2016].
- [28] G. b. Wright, "Radial Basis Function Interpolation Numerical and Analytical Developments," University of Colorado, 2003.
- [29] Instituto Português de Qualidade, NP EN 1991-1-4: Parte 1-4: Acções Gerais - Acções do vento, Caparica, 2010.

Anexo A. Coordenadas das Tomadas de Pressão

Tabela A-1: Coordenadas das tomadas de pressão no edifício de referência

Bloco		Tomada de Pressão	Coordenada X	Coordenada Y	Coordenada Z
A	1	1	24,3	0,0	0,1
A	1	2	24,3	0,0	0,4
A	1	3	24,3	0,0	0,7
A	1	4	23,6	0,0	0,1
A	1	5	20,5	0,0	0,1
A	1	6	16,7	0,0	0,5
A	1	7	13,0	0,0	0,1
A	1	8	12,8	0,0	0,9
A	1	9	9,0	0,0	0,5
A	1	10	5,5	0,0	0,1
A	1	11	5,3	0,0	0,9
A	1	12	2,7	0,0	0,6
A	1	13	1,8	0,0	0,1
A	1	14	0,9	0,0	0,1
A	1	15	0,9	0,0	0,4
A	1	16	0,9	0,0	1,0
A	1	17	0,0	0,7	0,1
A	1	18	0,0	0,6	0,3
A	1	19	0,0	1,1	0,1
A	1	20	0,0	1,5	0,3
A	1	21	0,0	2,0	0,9
A	1	22	0,0	2,2	0,1
A	2	23	24,2	0,0	0,2
A	2	24	24,1	0,0	0,7
A	2	25	20,0	0,0	0,5
A	2	26	16,8	0,0	0,1
A	2	27	16,7	0,0	0,9
A	2	28	12,5	0,0	0,6
A	2	29	9,3	0,0	0,9
A	2	30	9,1	0,0	0,1
A	2	31	5,6	0,0	0,6
A	2	32	0,9	0,0	0,1
A	2	33	1,0	0,0	0,5
A	2	34	1,1	0,0	0,9
A	2	35	0,0	0,7	0,2
A	2	36	0,0	1,4	0,9
A	2	37	0,0	1,8	0,3
A	3	38	24,1	0,0	0,2
A	3	39	24,2	0,0	0,6
A	3	40	20,0	0,0	0,1

Bloco		Tomada de Pressão	Coordenada X	Coordenada Y	Coordenada Z
A	3	41	19,8	0,0	0,9
A	3	42	16,5	0,0	0,5
A	3	43	9,7	0,0	0,5
A	3	44	6,9	0,0	0,9
A	3	45	6,2	0,0	0,1
A	3	46	3,6	0,0	0,5
A	3	47	1,0	0,0	0,3
A	3	48	0,9	0,0	0,7
A	3	49	0,0	0,8	0,5
A	3	50	0,0	1,4	0,3
A	3	51	0,0	1,5	0,9
A	3	52	0,0	2,2	0,7
A	4	53	24,1	0,0	0,2
A	4	54	24,2	0,0	0,5
A	4	55	24,0	0,0	0,8
A	4	56	19,2	0,0	0,8
A	4	57	16,5	0,0	0,5
A	4	58	13,5	0,0	0,9
A	4	59	13,3	0,0	0,1
A	4	60	9,9	0,0	0,5
A	4	61	7,6	0,0	0,8
A	4	62	2,3	0,0	1,0
A	4	63	0,9	0,0	0,9
A	4	64	0,8	0,0	0,7
A	4	65	0,8	0,0	0,5
A	4	66	0,8	0,0	0,1
A	4	67	0,0	0,7	0,2
A	4	68	0,0	0,7	0,7
A	4	69	0,0	0,7	0,9
A	4	70	0,0	1,2	0,9
A	4	71	0,0	1,7	0,5
A	4	72	0,0	2,3	0,8
A	4	73	23,5	1,4	0,0
A	4	74	14,7	1,3	0,0
A	4	75	7,5	1,4	0,0
A	4	76	0,6	0,7	0,0
B	1	77	49,1	0,0	0,1
B	1	78	46,0	0,0	0,1
B	1	79	42,5	0,0	0,5
B	1	80	38,9	0,0	0,2
B	1	81	38,6	0,0	0,9
B	1	82	36,1	0,0	0,6
B	1	83	30,0	0,0	0,2

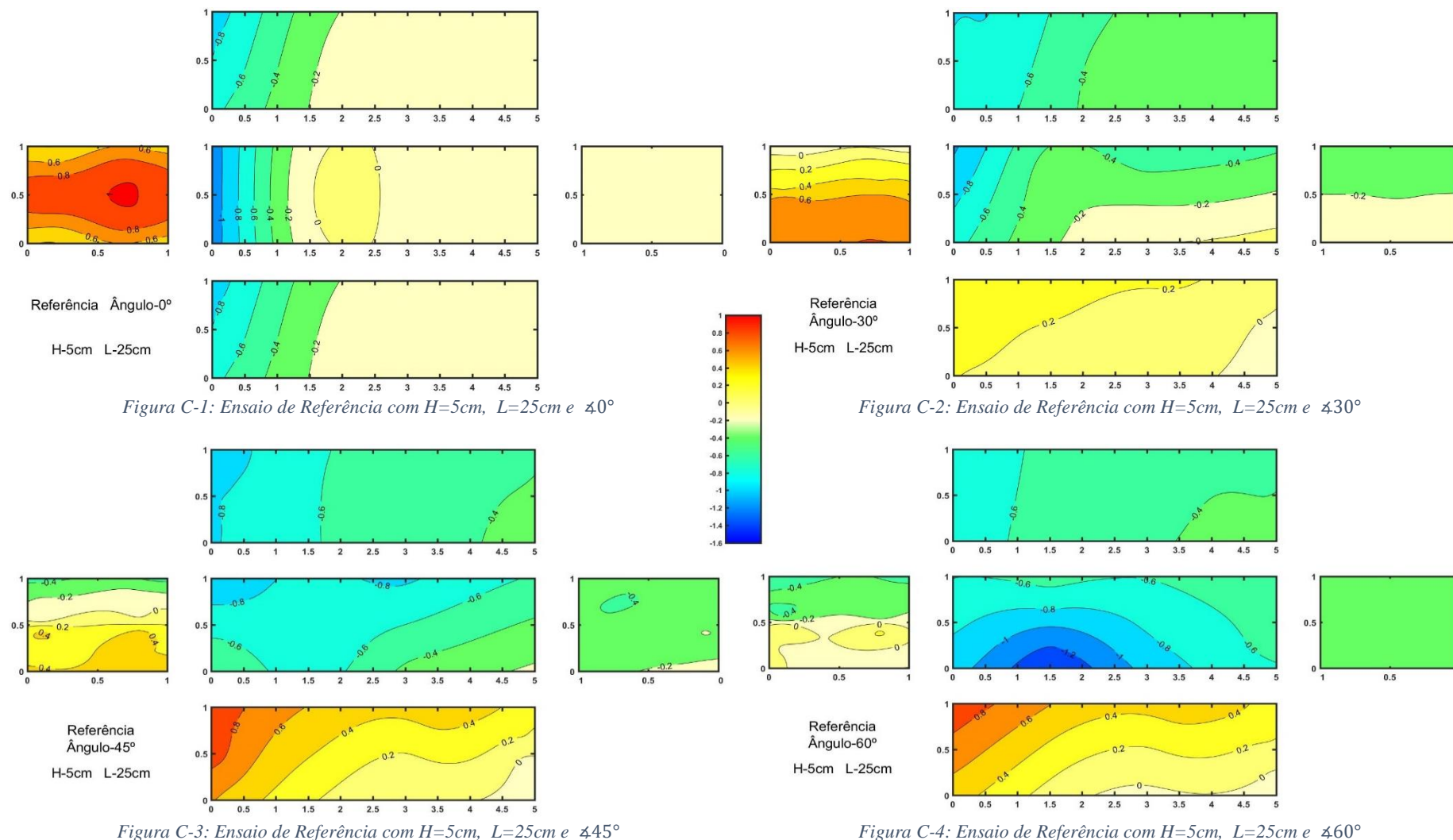
Bloco		Tomada de Pressão	Coordenada X	Coordenada Y	Coordenada Z
B	1	84	29,9	0,0	0,9
B	1	85	26,5	0,0	0,5
B	1	86	26,2	0,0	0,1
B	2	87	49,2	0,0	0,2
B	2	88	49,4	0,0	0,7
B	2	89	46,5	0,0	0,4
B	2	90	42,5	0,0	0,1
B	2	91	41,9	0,0	0,9
B	2	92	39,8	0,0	0,5
B	2	93	38,2	0,0	0,7
B	2	94	32,4	0,0	0,1
B	2	95	32,7	0,0	0,8
B	2	96	29,1	0,0	0,4
B	2	97	26,4	0,0	0,5
B	3	98	47,4	0,0	0,6
B	3	99	45,6	0,0	0,8
B	3	100	45,1	0,0	0,2
B	3	101	42,2	0,0	0,5
B	3	102	38,7	0,0	0,9
B	3	103	33,5	0,0	0,5
B	3	104	28,9	0,0	0,9
B	3	105	25,8	0,0	0,6
B	4	106	49,1	0,0	0,1
B	4	107	49,0	0,0	0,2
B	4	108	48,8	0,0	0,8
B	4	109	45,5	0,0	0,5
B	4	110	41,4	0,0	0,2
B	4	111	40,4	0,0	0,8
B	4	112	37,2	0,0	0,5
B	4	113	33,3	0,0	0,2
B	4	114	33,5	0,0	0,8
B	4	115	30,3	0,0	0,5
B	4	116	27,6	0,0	0,1
B	4	117	27,3	0,0	0,8
B	4	118	49,1	1,5	0,0
B	4	119	40,9	1,2	0,0
B	4	120	33,7	1,5	0,0
B	4	121	27,1	1,5	0,0
A	4	122	0,0	0,6	0,1
A	4	123	0,0	1,3	0,1
A	4	124	0,0	2,3	0,1

Anexo B. Configurações do Desfiladeiro Urbano

Tabela B-1: Dimensões dos edifícios para os ensaios efetuados

Configurações	Altura	Afastamento	Comprimento
1	1	2	5
2	1	1,5	5
3	1	1	5
4	1	0,75	5
5	1	2	10
6	1	1,5	10
7	1	1	10
8	1	0,75	10
9	2	4	5
10	2	3	5
11	2	2	5
12	2	1,5	5
13	2	4	10
14	2	3	10
15	2	2	10
16	2	1,5	10
17	3	6	5
18	3	4,5	5
19	3	3	5
20	3	2,25	5
21	3	6	10
22	3	4,5	10
23	3	3	10
24	3	2,25	10
25	4	8	5
26	4	6	5
27	4	4	5
28	4	3	5
29	4	8	10
30	4	6	10
31	4	4	10
32	4	3	10

Anexo C. Distribuição dos Coeficientes de Pressão nos Desfiladeiros Urbanos



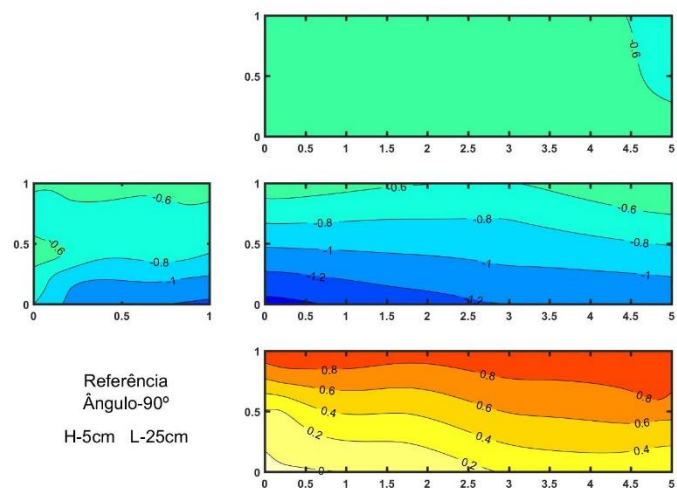


Figura C-5: Ensaio de Referência com $H=5\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\angle 90^\circ$

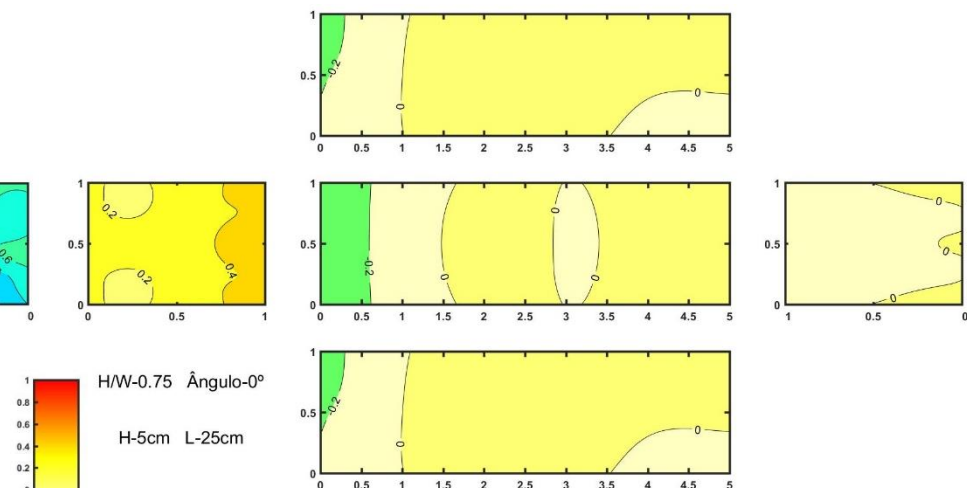


Figura C-6: Ensaio com $H/W=0.75$, $H=5\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\angle 40^\circ$

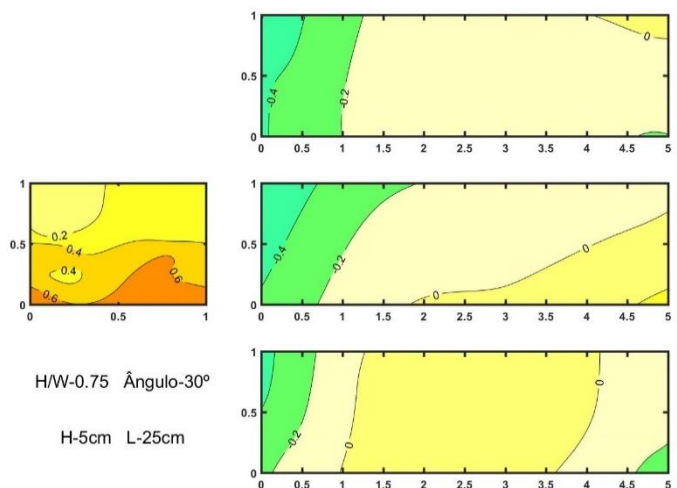


Figura C-7: Ensaio com $H/W=0.75$, $H=5\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\angle 30^\circ$

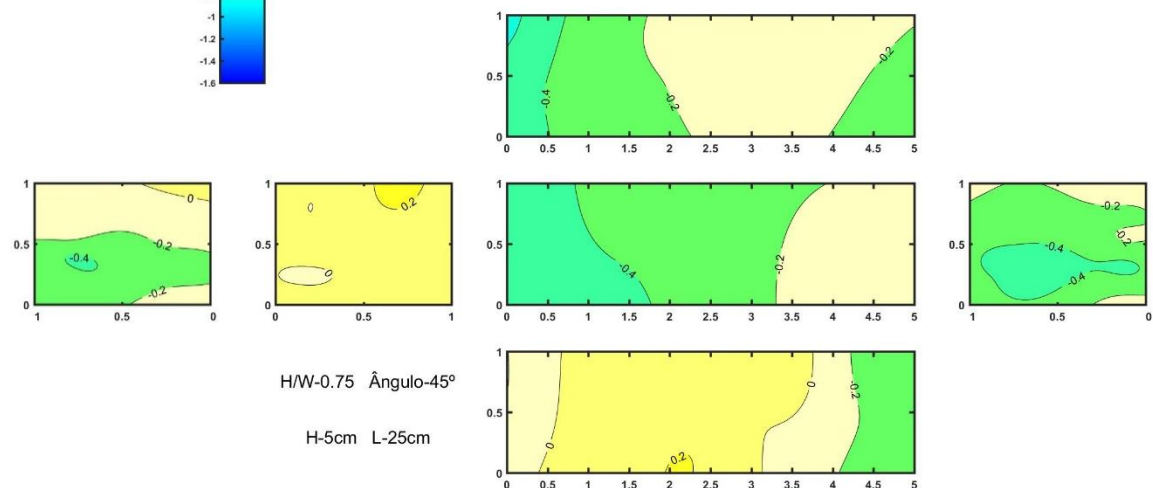


Figura C-8: Ensaio com $H/W=0.75$, $H=5\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\angle 45^\circ$

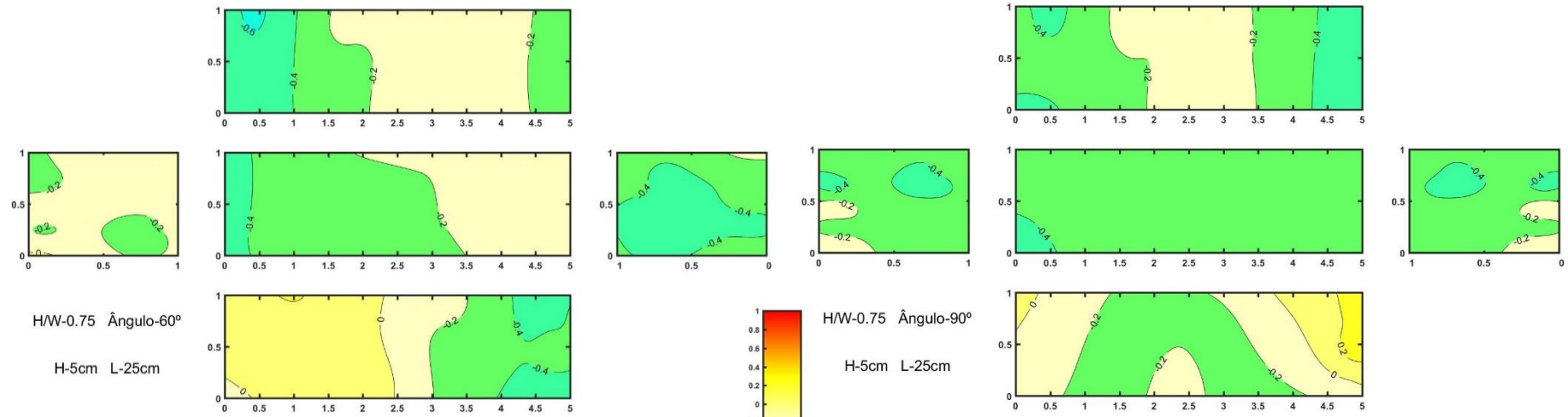


Figura C-9: Ensaio com $H/W=0.75$, $H=5\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\angle 60^\circ$

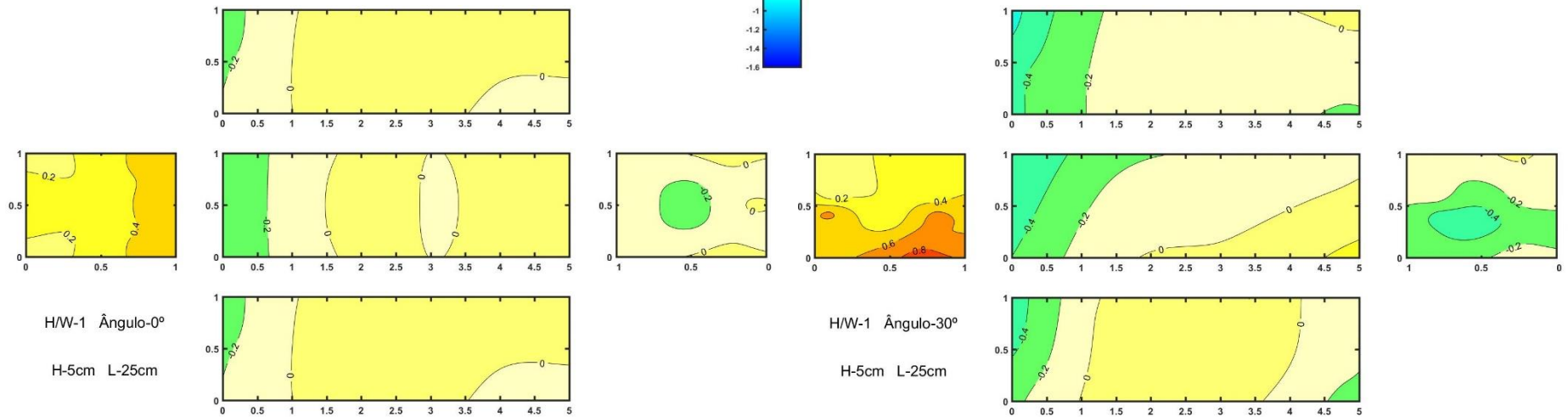


Figura C-11: Ensaio com $H/W=1$, $H=5\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\angle 0^\circ$

Figura C-10: Ensaio com $H/W=0.75$, $H=5\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\angle 90^\circ$

Figura C-12: Ensaio com $H/W=1$, $H=5\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\angle 30^\circ$

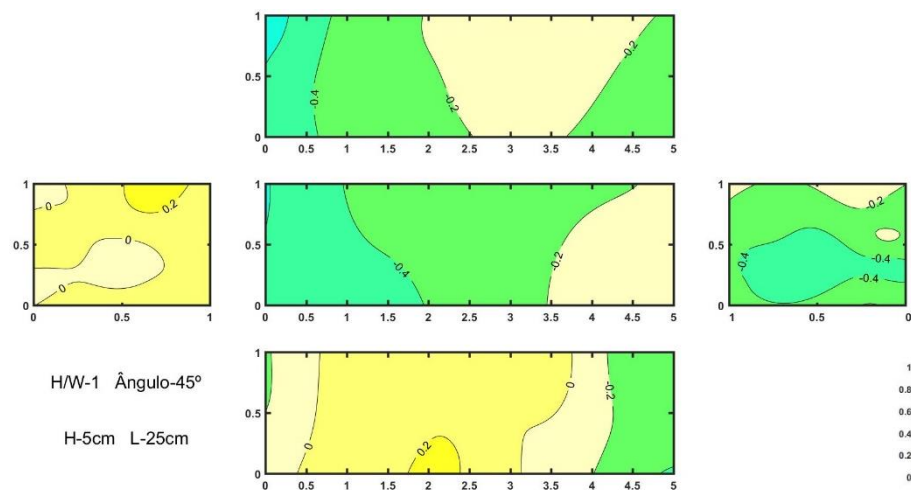


Figura C-13: Ensaio com $H/W=1$, $H=5\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\angle 45^\circ$

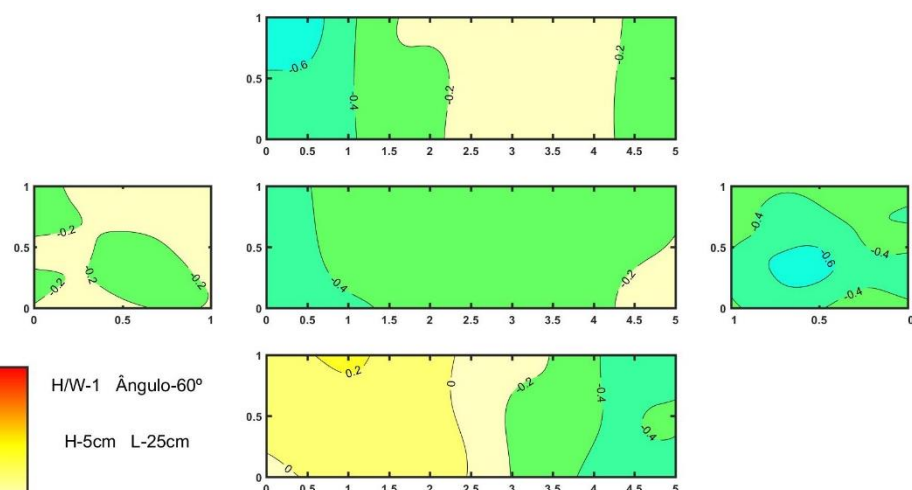


Figura C-14: Ensaio com $H/W=1$, $H=5\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\angle 60^\circ$

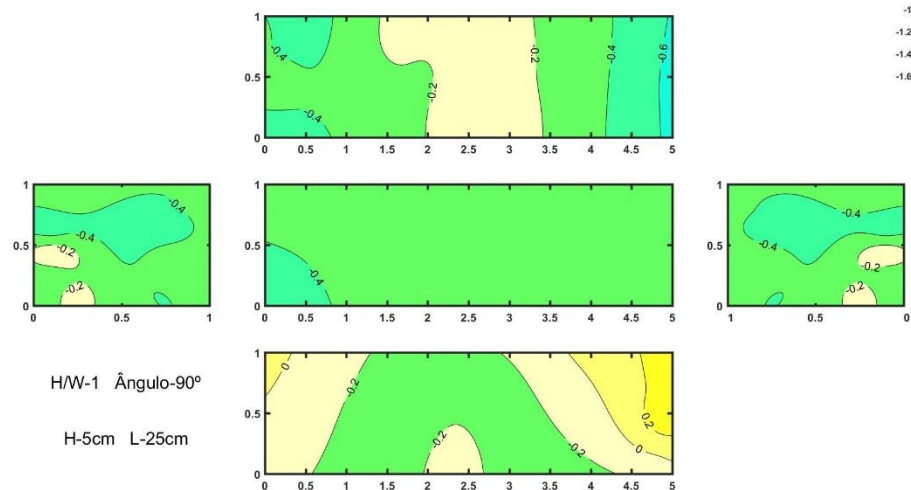


Figura C-15: Ensaio com $H/W=1$, $H=5\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\angle 90^\circ$

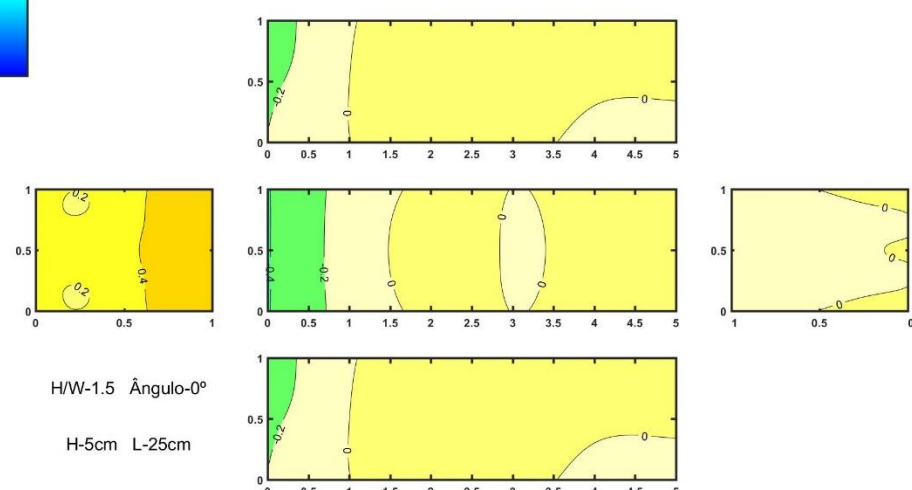


Figura C-16: Ensaio com $H/W=1.5$, $H=5\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\angle 0^\circ$

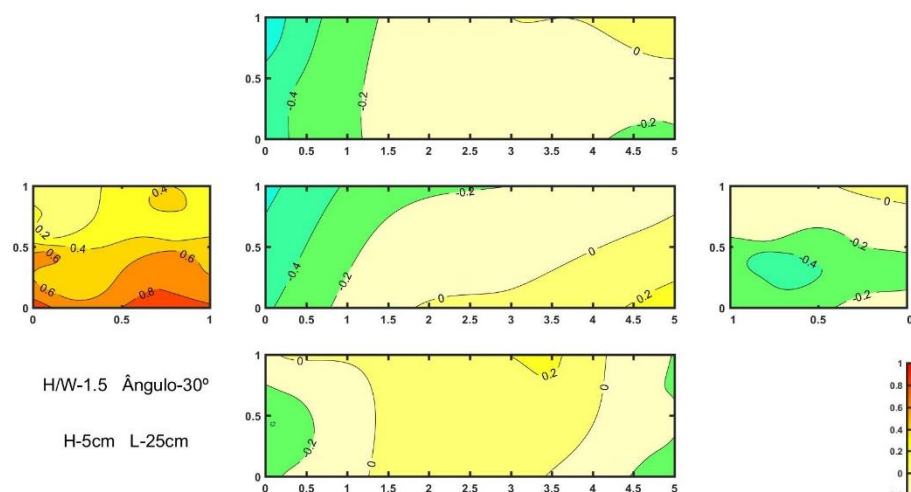


Figura C-17: Ensaio com $H/W=1.5$, $H=5\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\angle 30^\circ$

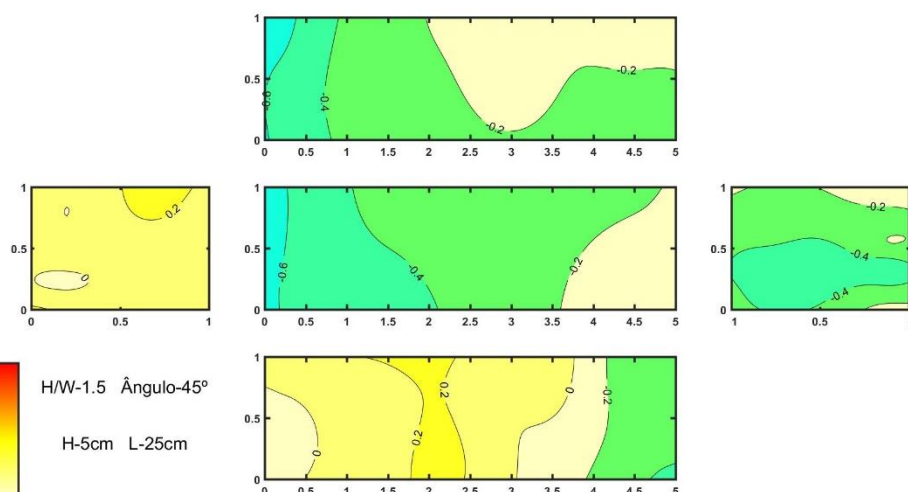


Figura C-18: Ensaio com $H/W=1.5$, $H=5\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\angle 45^\circ$

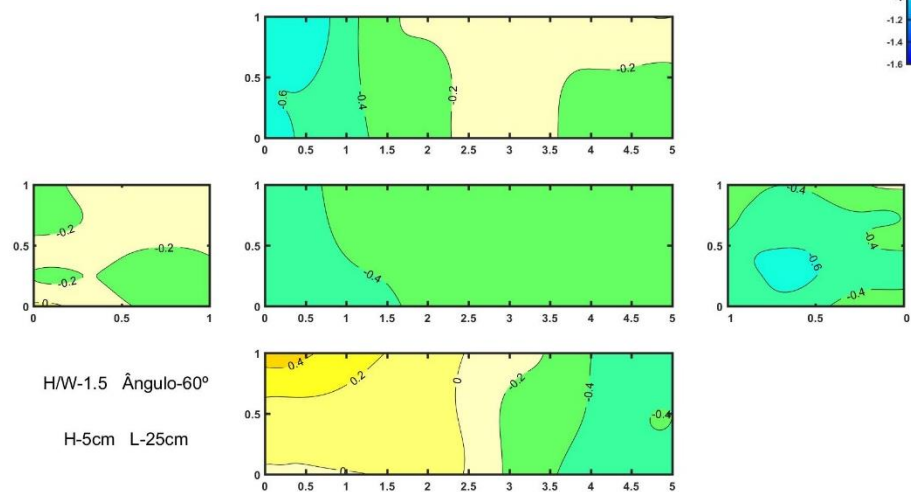


Figura C-19: Ensaio com $H/W=1.5$, $H=5\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\angle 60^\circ$

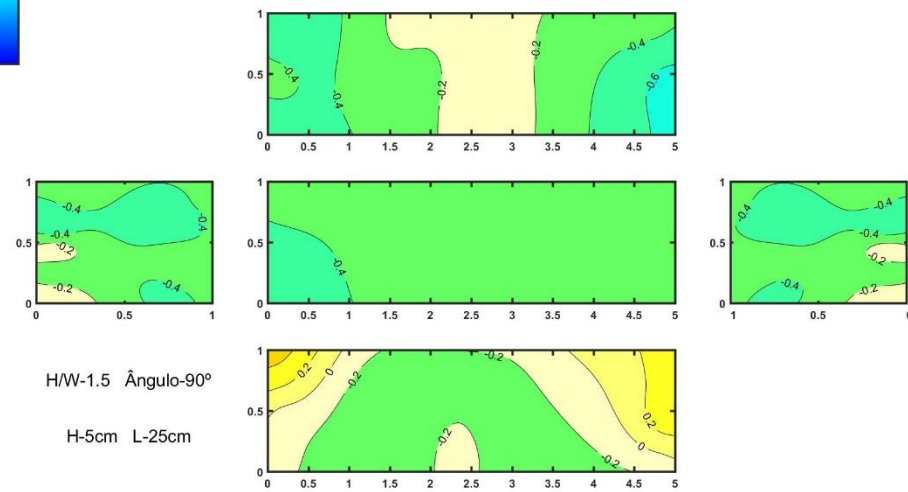


Figura C-20: Ensaio com $H/W=1.5$, $H=5\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\angle 90^\circ$

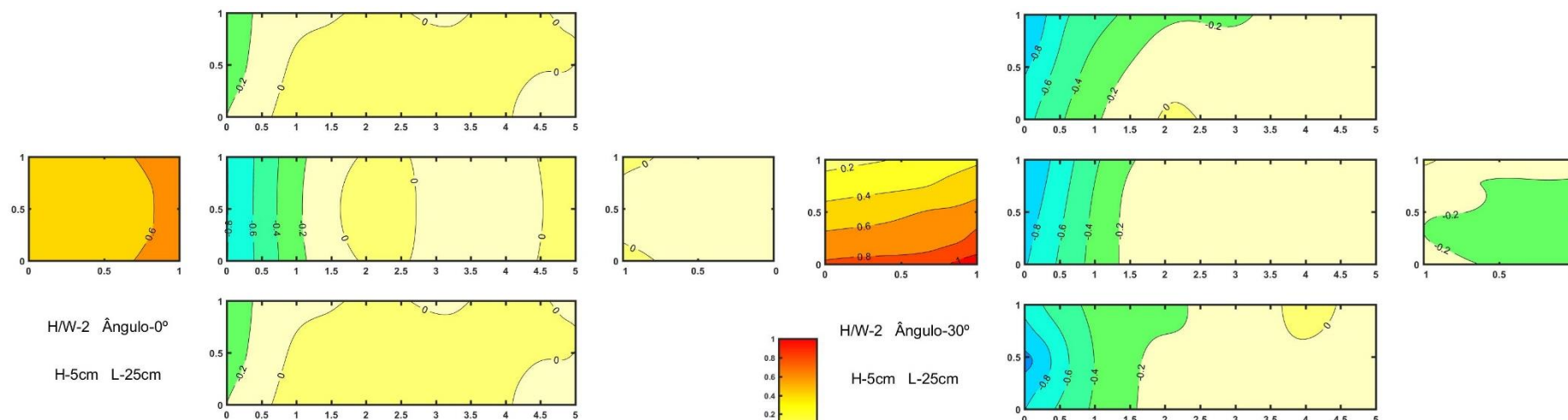


Figura C-21: Ensaio com $H/W=2$, $H=5\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\angle 0^\circ$

Figura C-22: Ensaio com $H/W=2$, $H=5\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\angle 30^\circ$

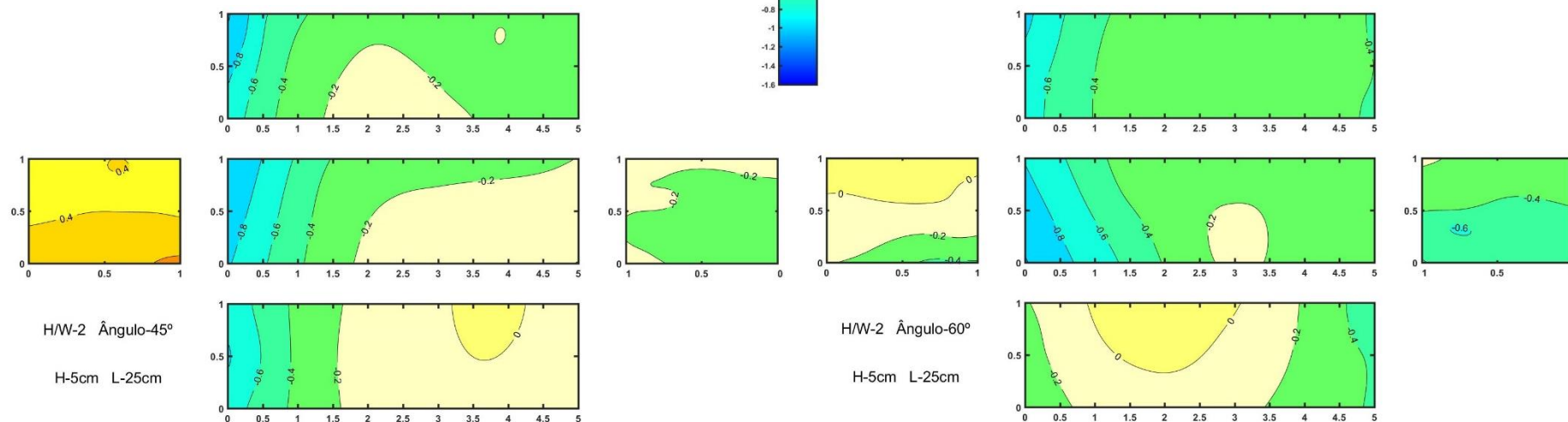


Figura C-23: Ensaio com $H/W=2$, $H=5\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\angle 45^\circ$

Figura C-24: Ensaio com $H/W=2$, $H=5\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\angle 60^\circ$

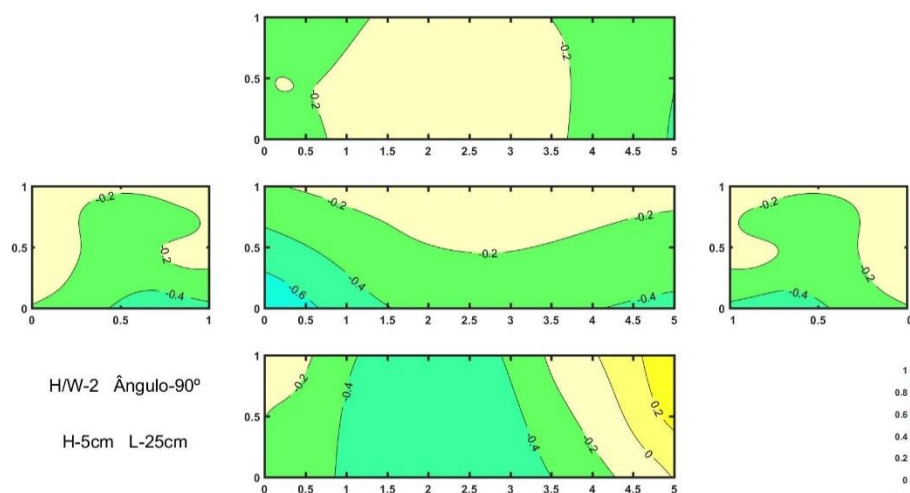


Figura C-25: Ensaio com $H/W=2$, $H=5\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\angle 90^\circ$

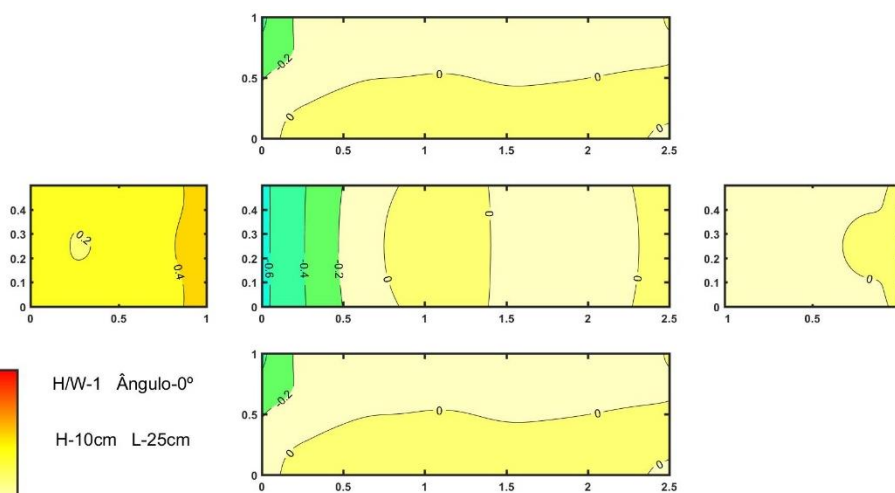


Figura C-26: Ensaio com $H/W=1$, $H=10\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\angle 0^\circ$

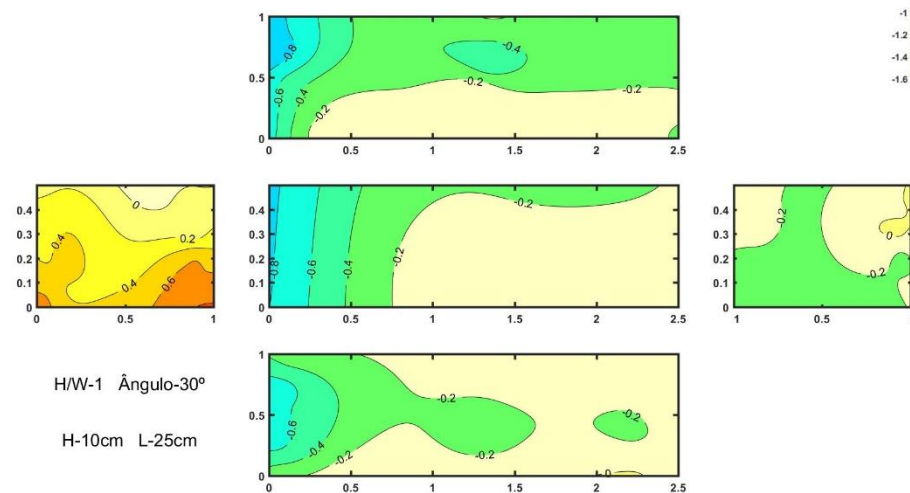


Figura C-27: Ensaio com $H/W=1$, $H=10\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\angle 30^\circ$

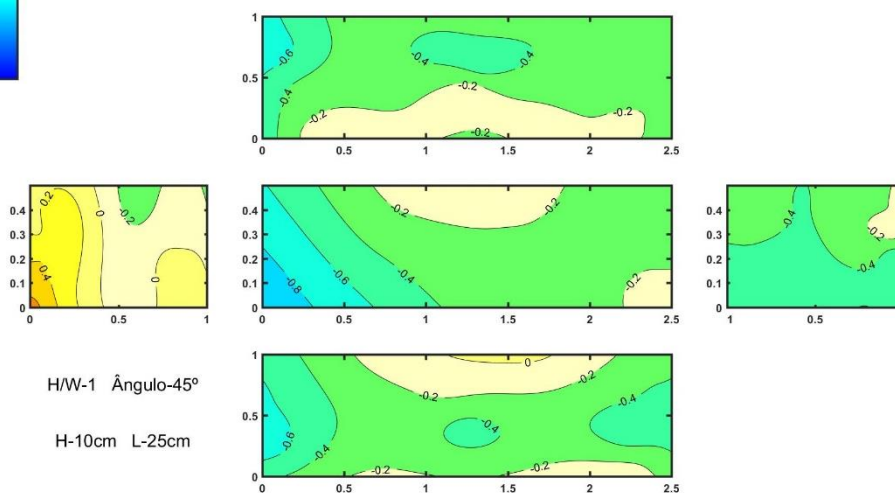


Figura C-28: Ensaio com $H/W=1$, $H=10\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\angle 45^\circ$

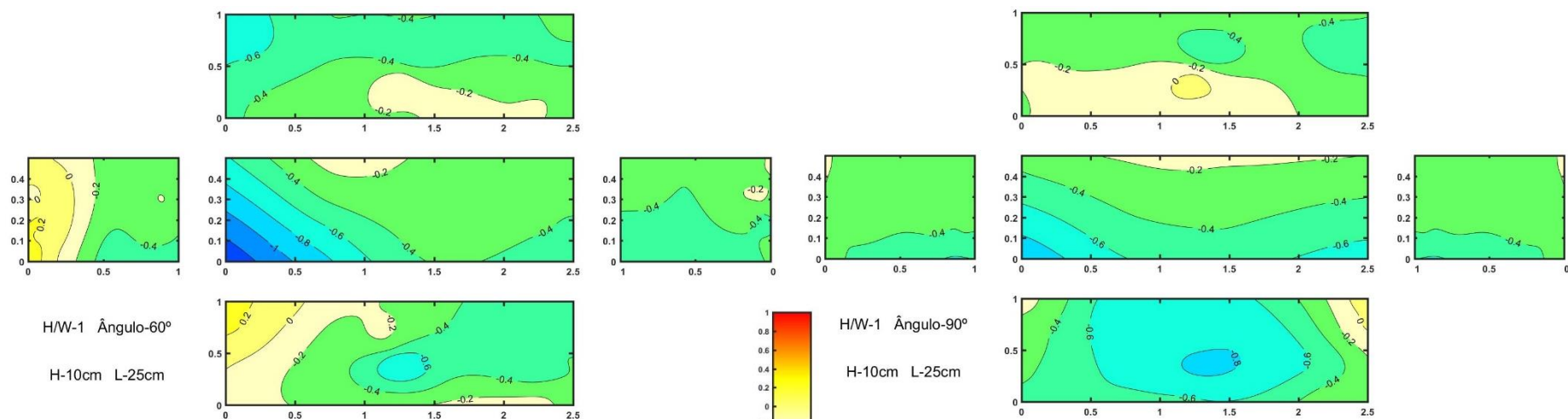


Figura C-29: Ensaio com $H/W=1$, $H=10\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\angle 60^\circ$

Figura C-30: Ensaio com $H/W=1$, $H=10\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\angle 90^\circ$

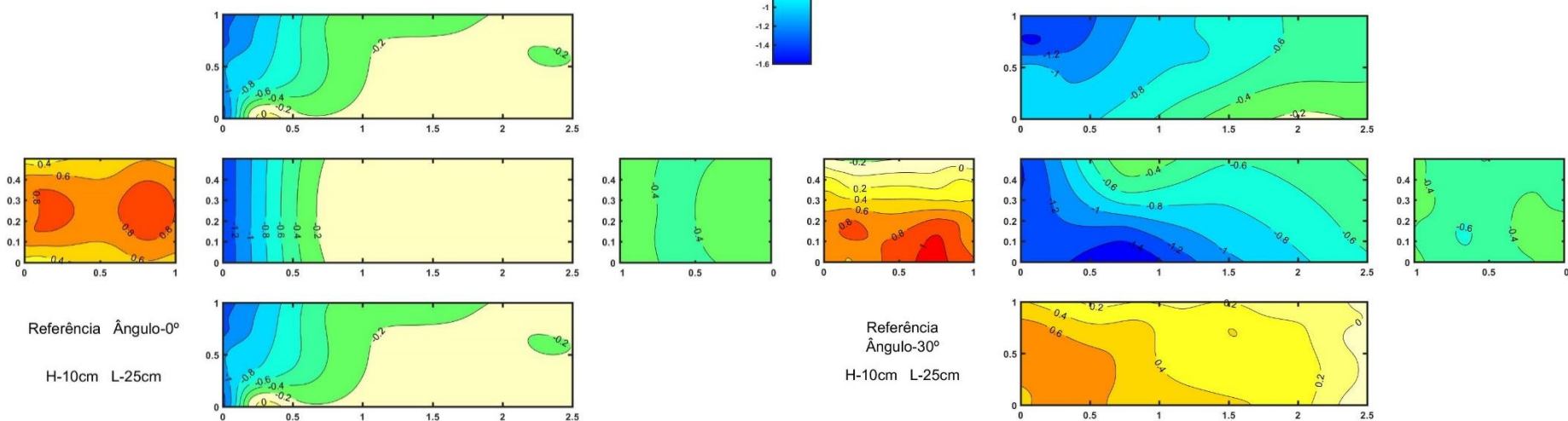


Figura C-31: Ensaio de Referência, $H=10\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\angle 40^\circ$

Figura C-32: Ensaio de Referência, $H=10\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\angle 30^\circ$

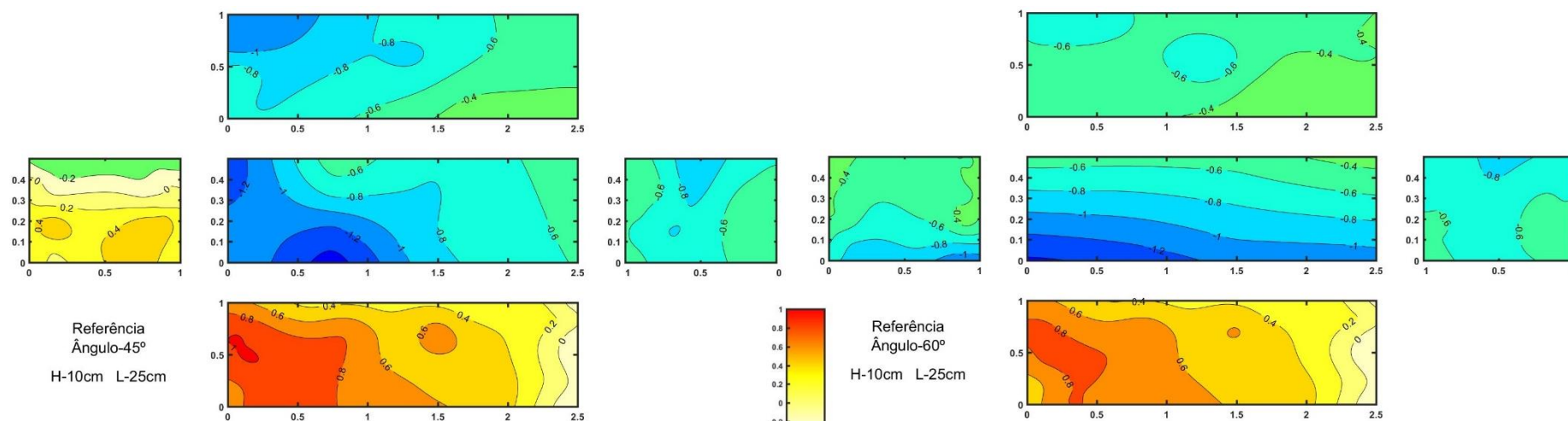


Figura C-33: Ensaio de Referência, $H=10\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha=45^\circ$

Figura C-34: Ensaio de Referência, $H=10\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha=60^\circ$

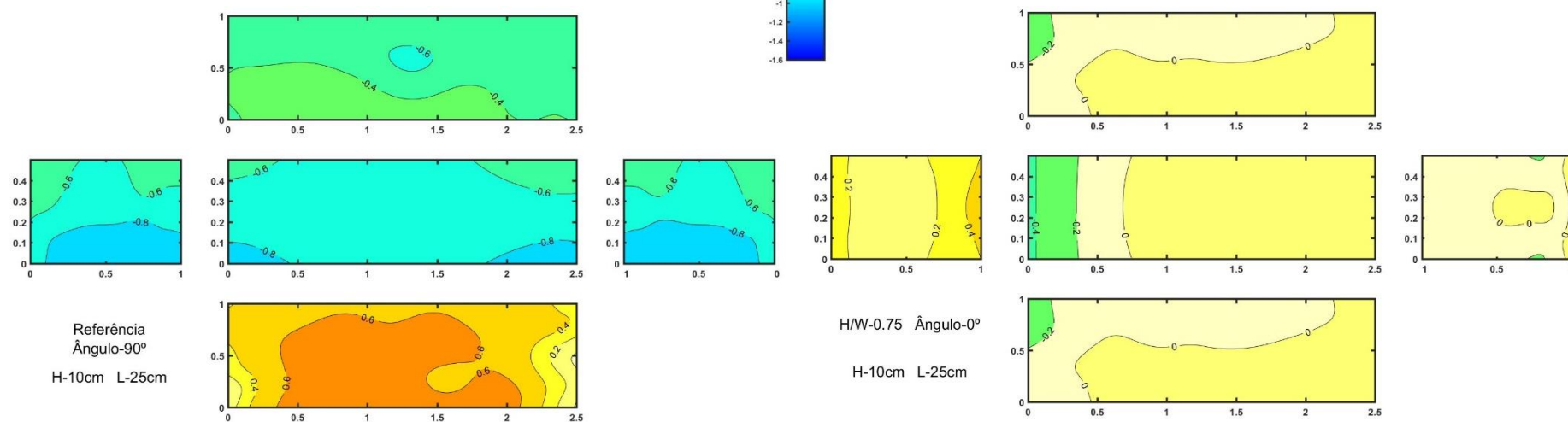


Figura C-35: Ensaio de Referência, $H=10\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha=90^\circ$

H/W=0.75 Ângulo-0°
H-10cm L-25cm

Figura C-36: Ensaio com $H/W=0.75$, $H=10\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha=0^\circ$

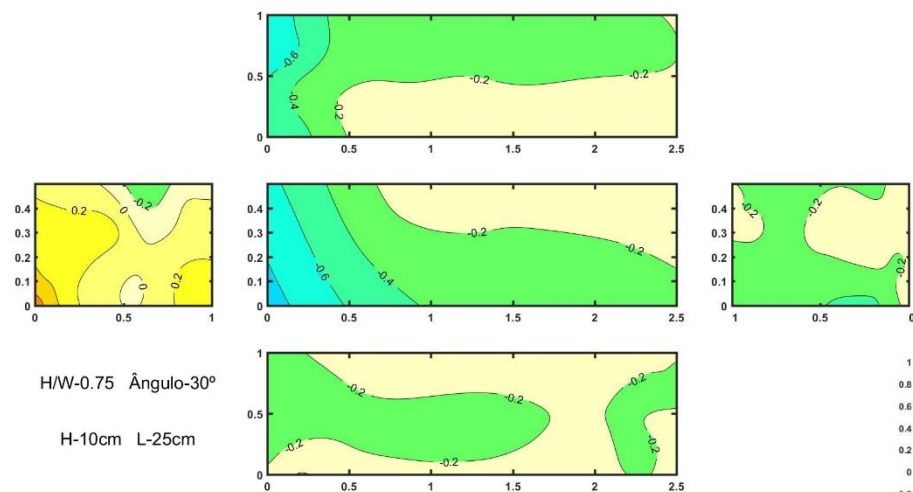


Figura C-37: Ensaio com $H/W=0.75$, $H=10\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 30^\circ$

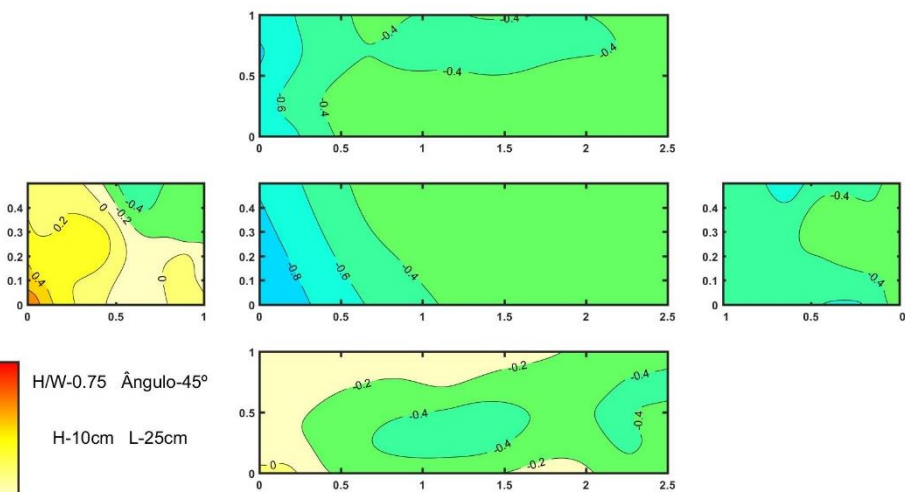


Figura C-38: Ensaio com $H/W=0.75$, $H=10\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 45^\circ$

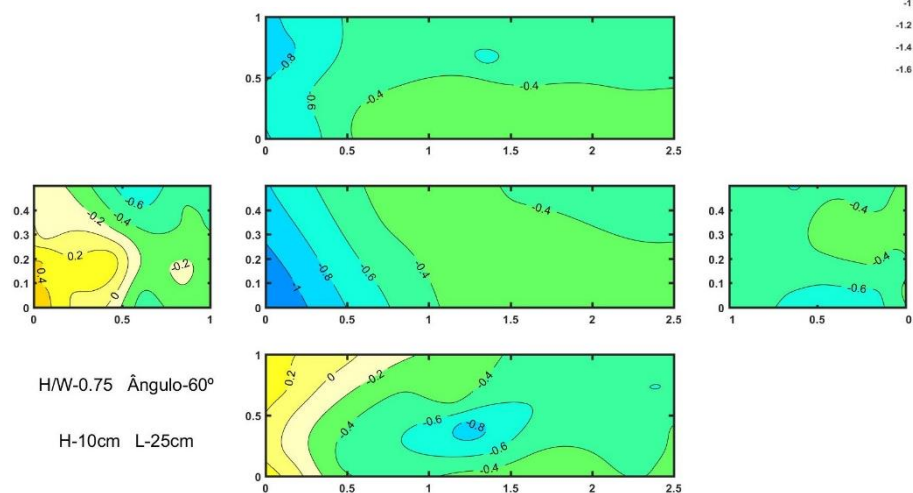


Figura C-39: Ensaio com $H/W=0.75$, $H=10\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 60^\circ$

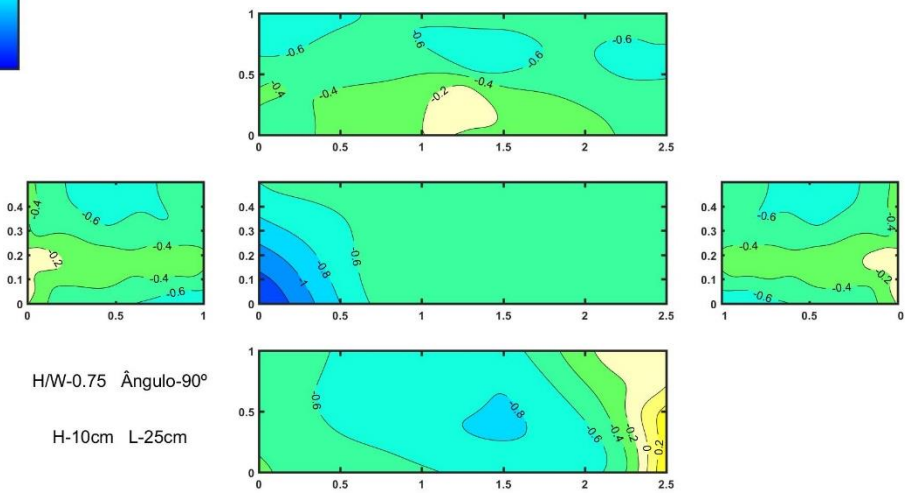


Figura C-40: Ensaio com $H/W=0.75$, $H=10\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 90^\circ$

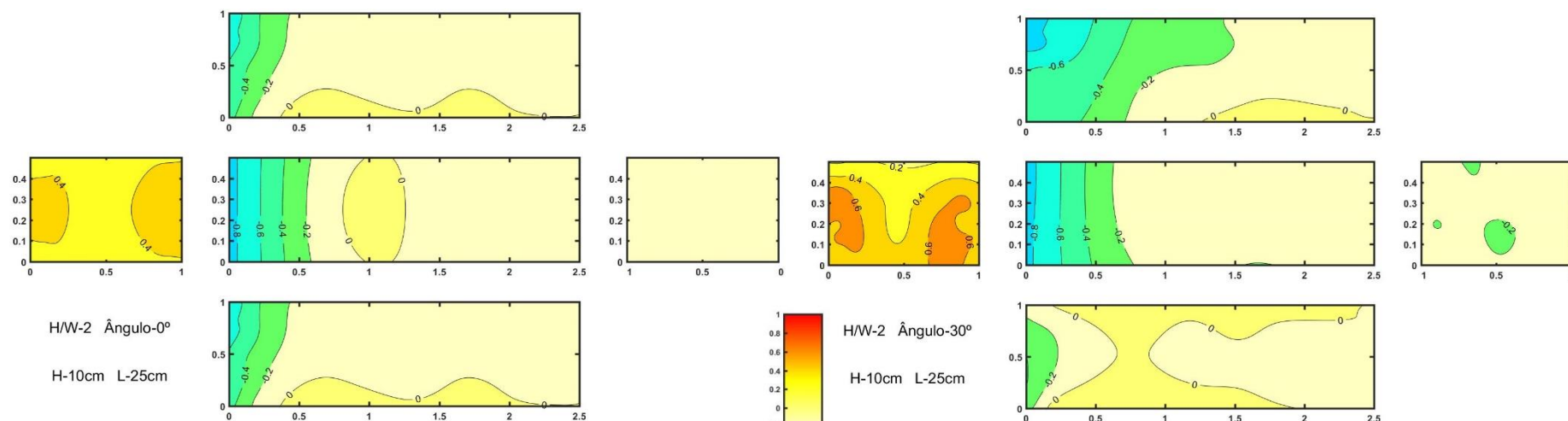


Figura C-41: Ensaio com $H/W=2$, $H=10\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha=0^\circ$

Figura C-42: Ensaio com $H/W=2$, $H=10\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha=30^\circ$

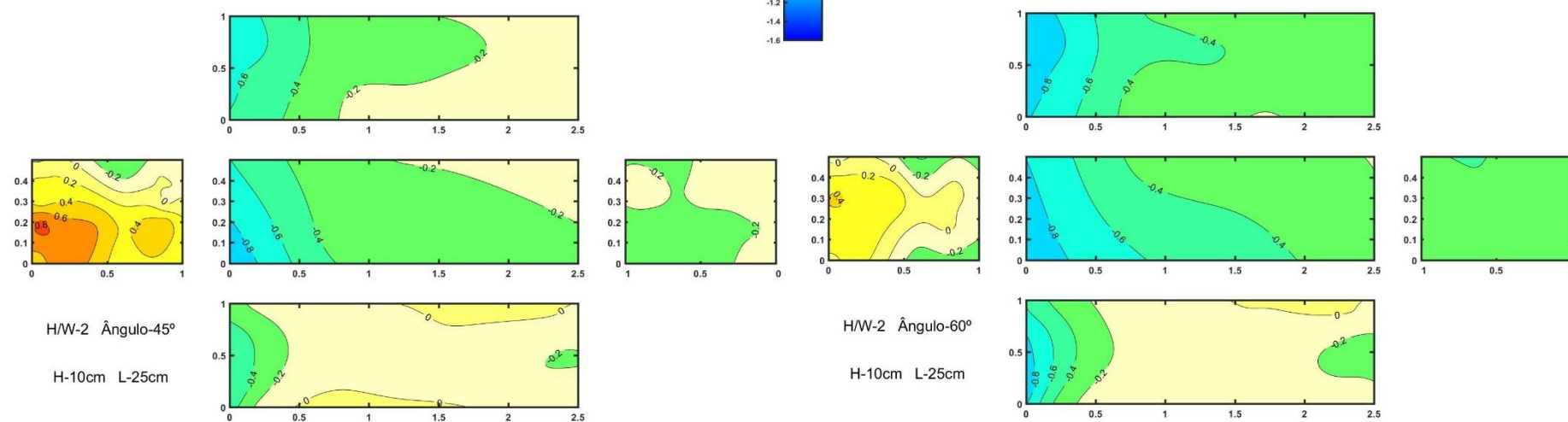


Figura C-43: Ensaio com $H/W=2$, $H=10\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha=45^\circ$

Figura C-44: Ensaio com $H/W=0.75$, $H=5\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha=60^\circ$

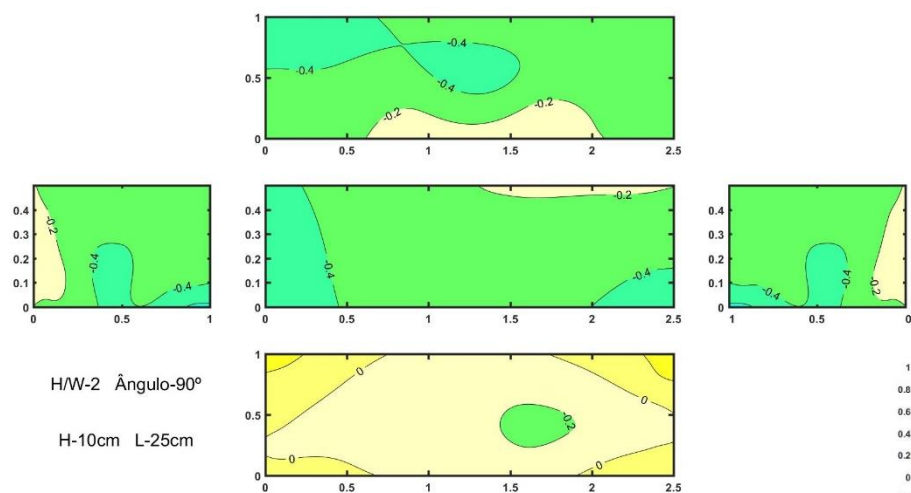


Figura C-45: Ensaio com $H/W=2$, $H=10\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 90^\circ$

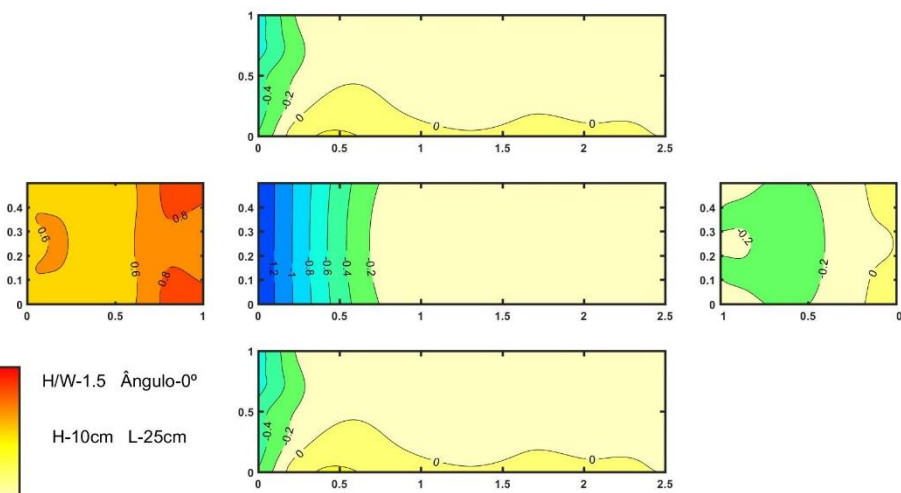


Figura C-46: Ensaio com $H/W=1.5$, $H=10\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 0^\circ$

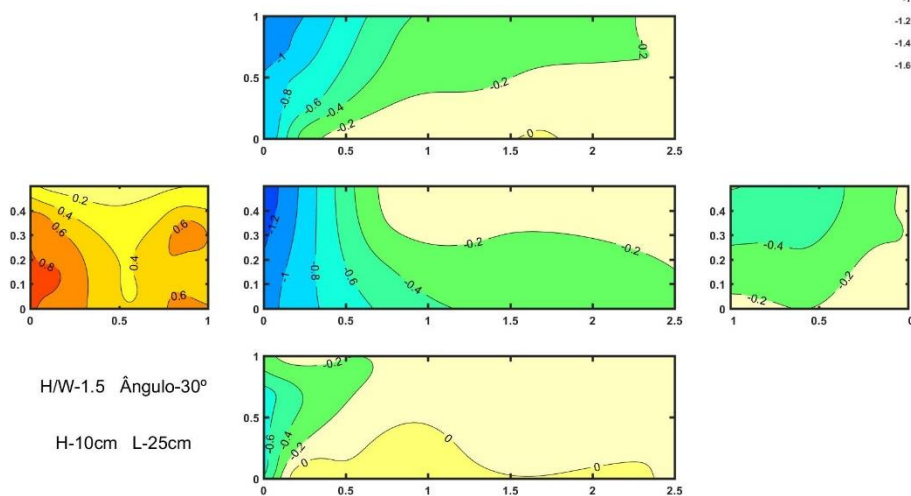


Figura C-47: Ensaio com $H/W=1.5$, $H=10\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 30^\circ$

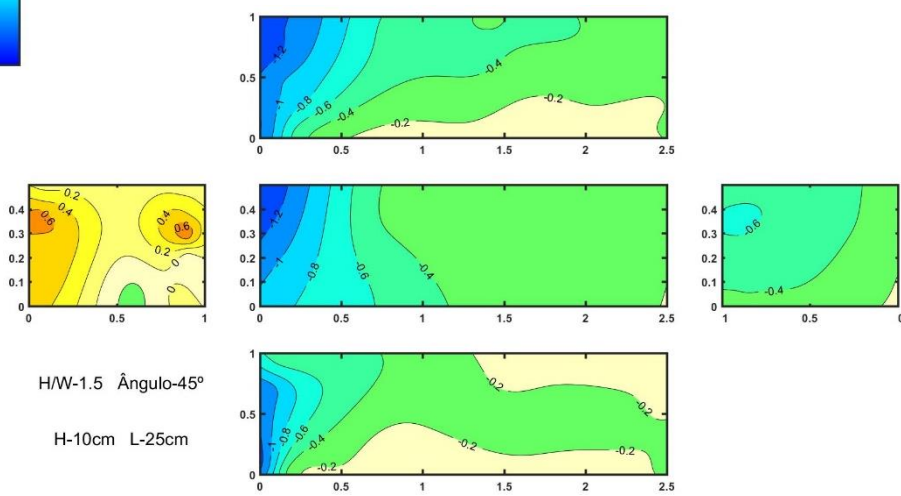


Figura C-48: Ensaio com $H/W=1.5$, $H=10\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 45^\circ$

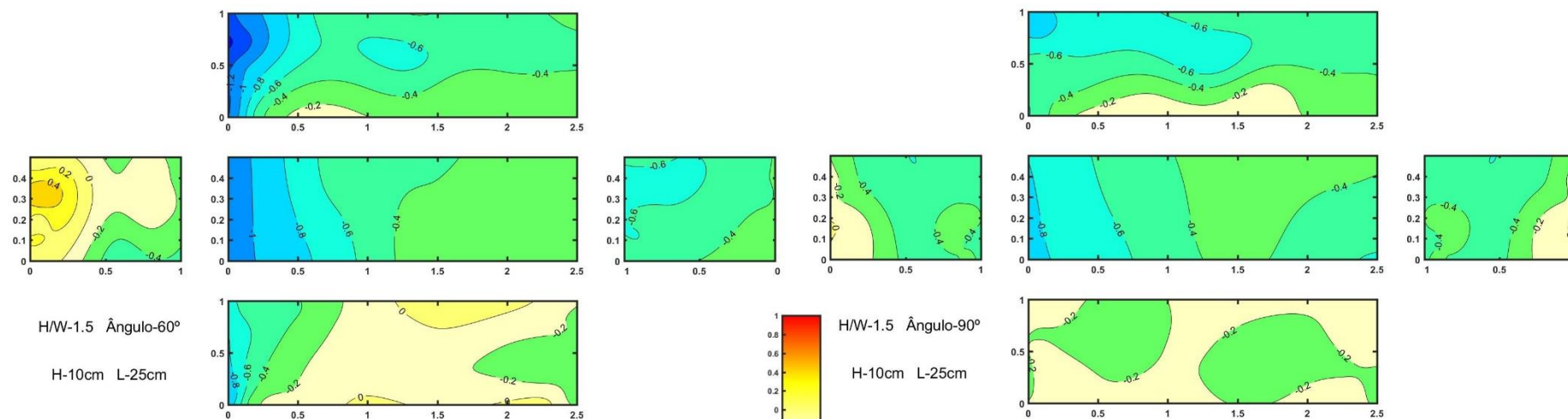


Figura C-49: Ensaio com $H/W=1.5$, $H=10\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\angle 60^\circ$

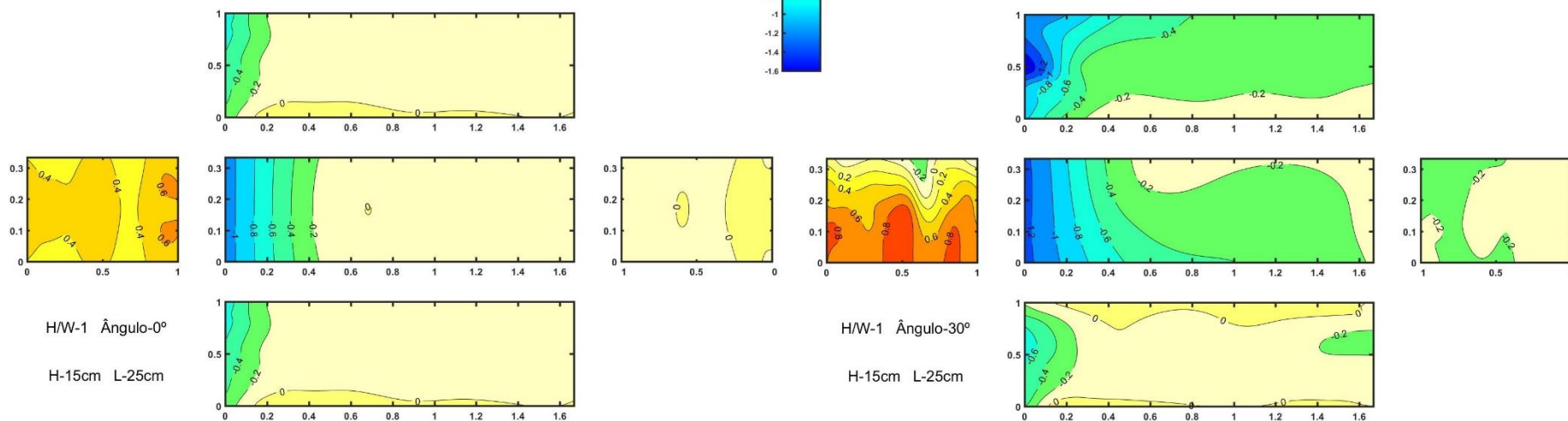


Figura C-51: Ensaio com $H/W=1$, $H=15\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\angle 0^\circ$

Figura C-50: Ensaio com $H/W=1.5$, $H=10\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\angle 90^\circ$

Figura C-52: Ensaio com $H/W=1$, $H=15\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\angle 30^\circ$

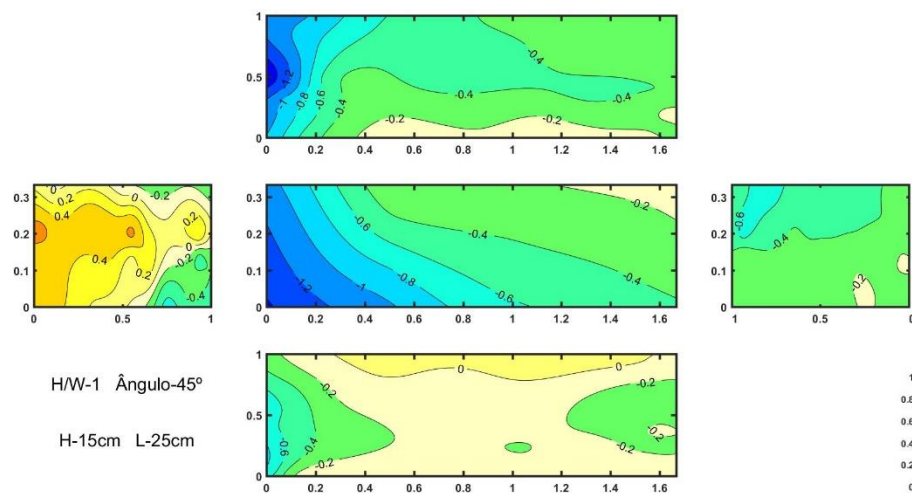


Figura C-53: Ensaio com $H/W=1$, $H=15\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 45^\circ$

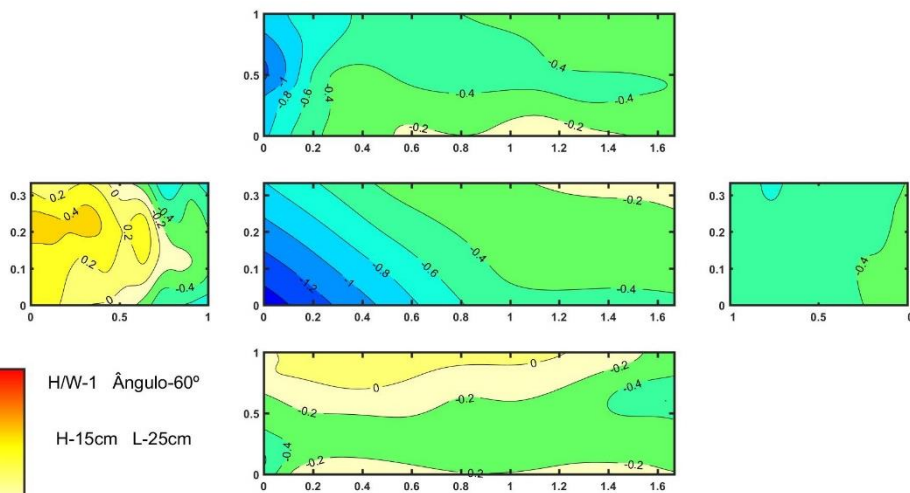
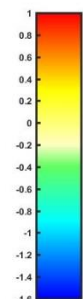


Figura C-54: Ensaio com $H/W=1$, $H=15\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 60^\circ$

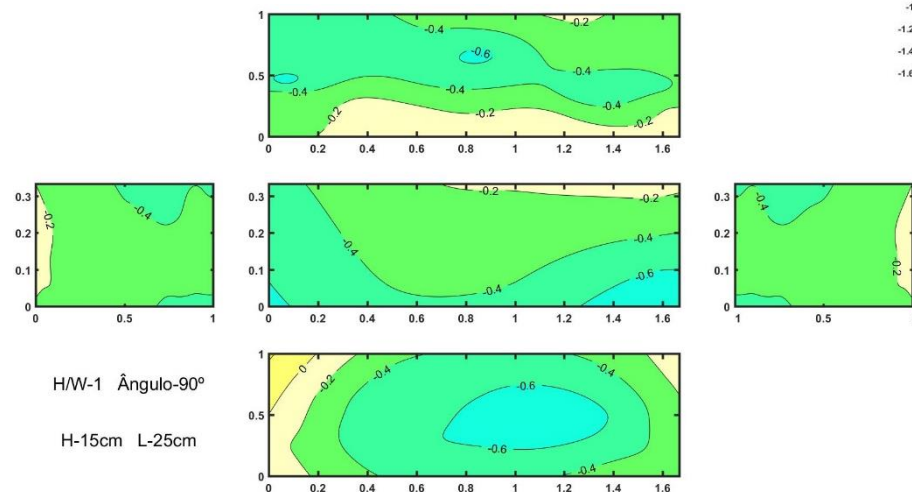


Figura C-55: Ensaio com $H/W=1$, $H=15\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 90^\circ$

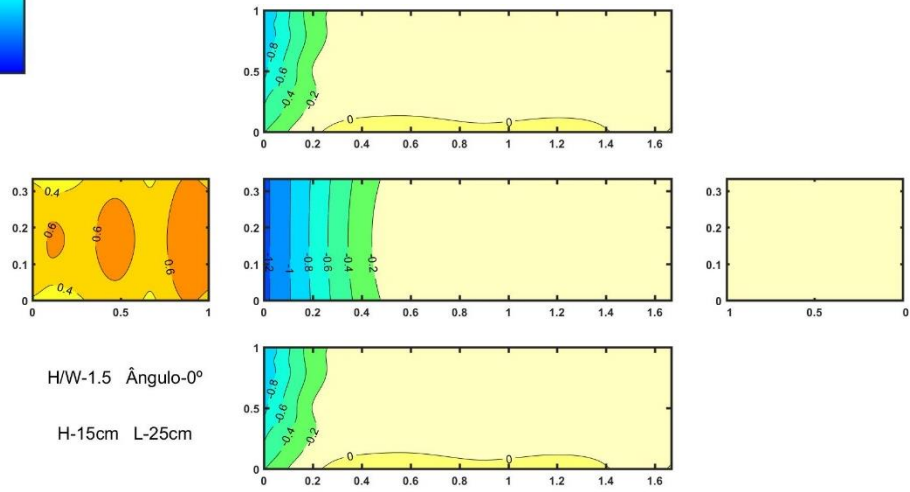


Figura C-56: Ensaio com $H/W=1.5$, $H=15\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 0^\circ$

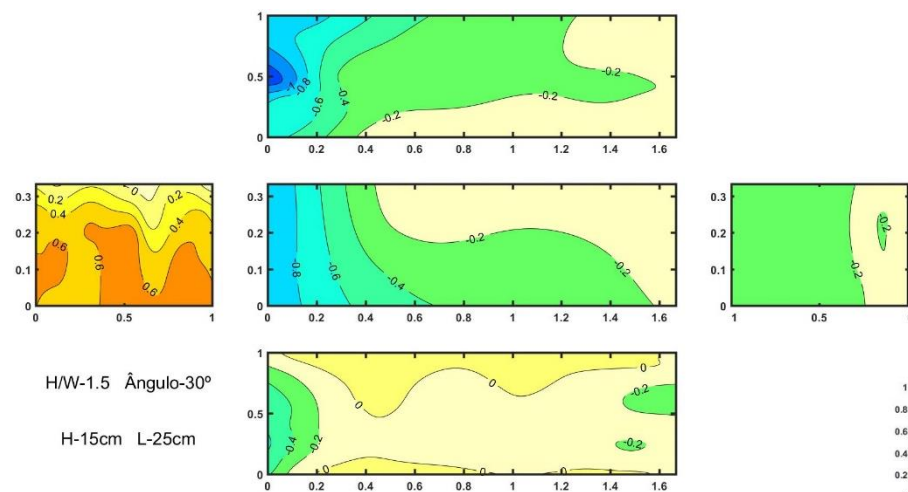


Figura C-57: Ensaio com $H/W=1.5$, $H=15\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\angle 30^\circ$

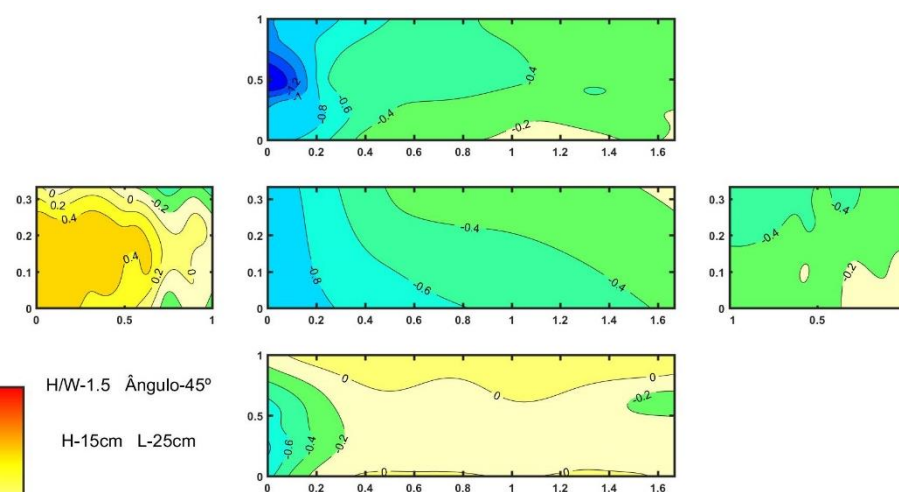


Figura C-58: Ensaio com $H/W=1.5$, $H=15\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\angle 45^\circ$

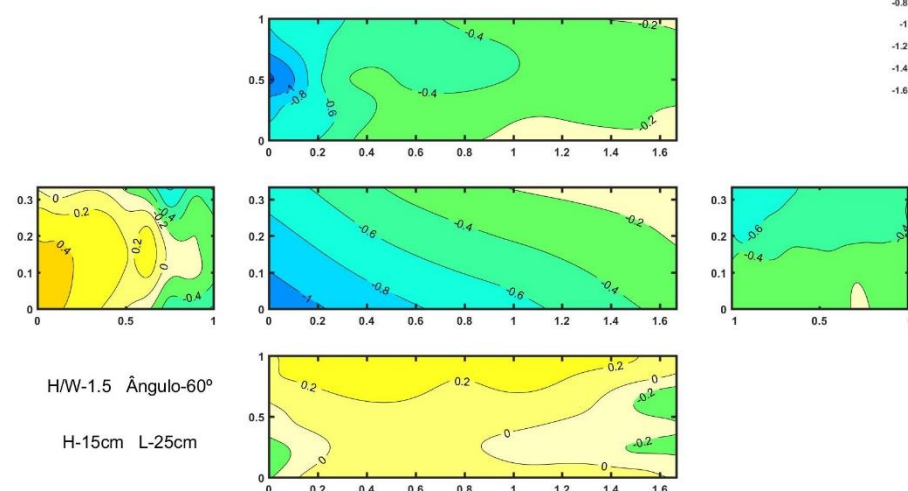


Figura C-59: Ensaio com $H/W=1.5$, $H=15\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\angle 60^\circ$

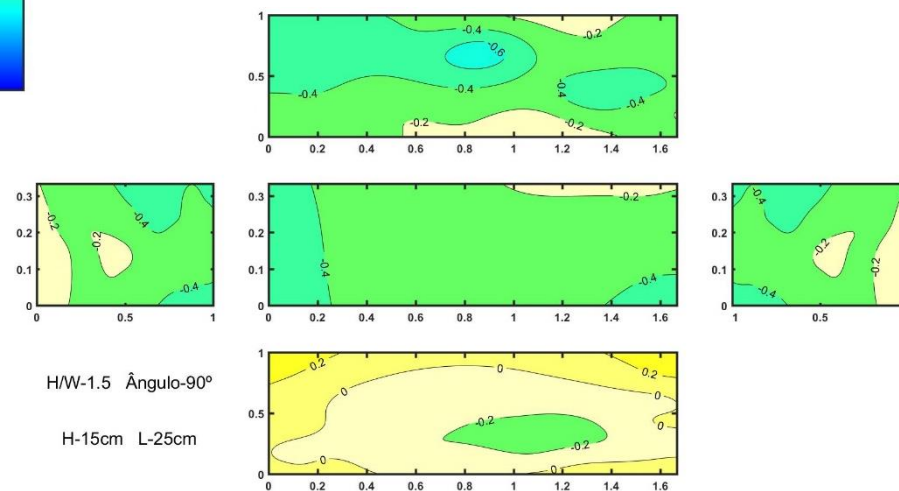


Figura C-60: Ensaio com $H/W=1.5$, $H=15\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\angle 90^\circ$

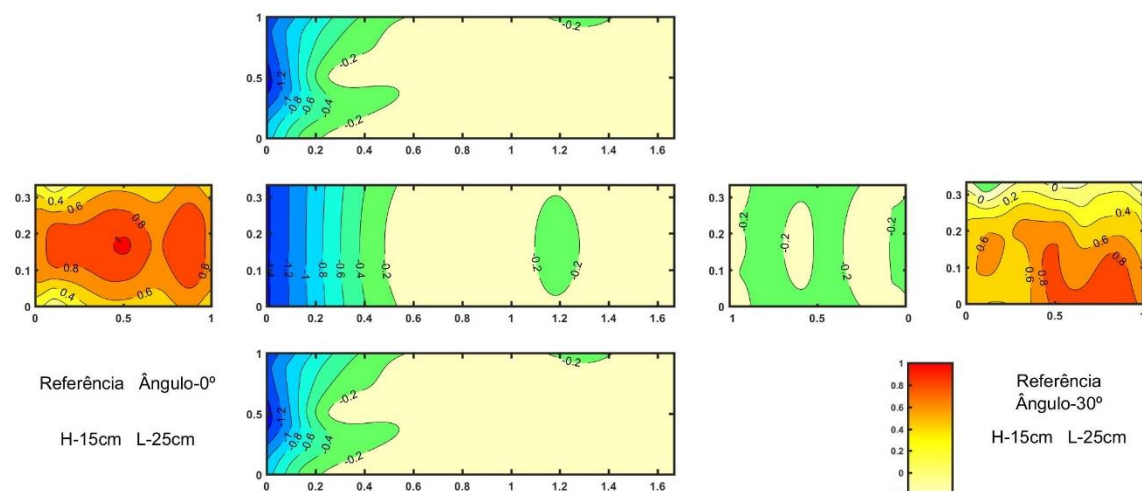


Figura C-61: Ensaio de Referência, $H=15\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\angle 0^\circ$

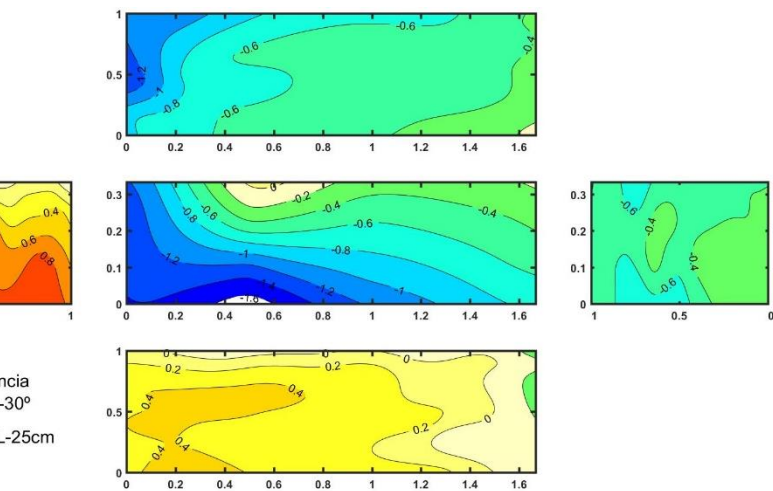


Figura C-62: Ensaio de Referência, $H=15\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\angle 30^\circ$

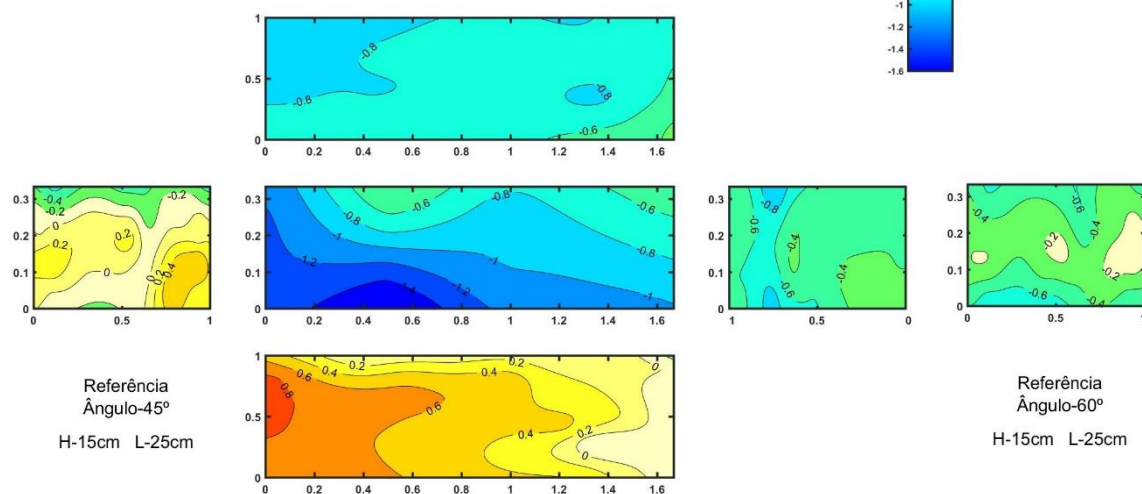


Figura C-63: Ensaio de Referência, $H=15\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\angle 45^\circ$

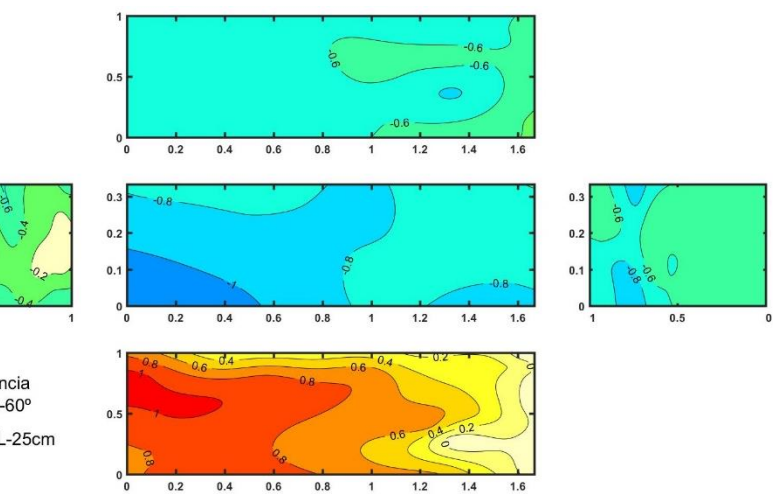


Figura C-64: Ensaio de Referência, $H=15\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\angle 60^\circ$

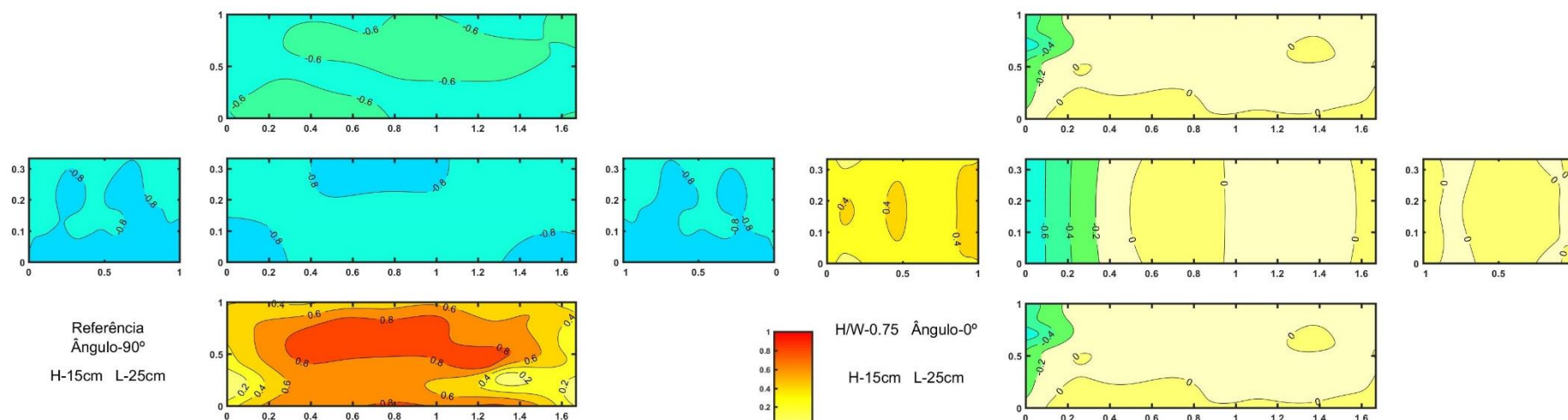


Figura C-65: Ensaio de Referência, $H=15\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e 90°

Figura C-66: Ensaio com $H/W=0.75$, $H=15\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e 40°

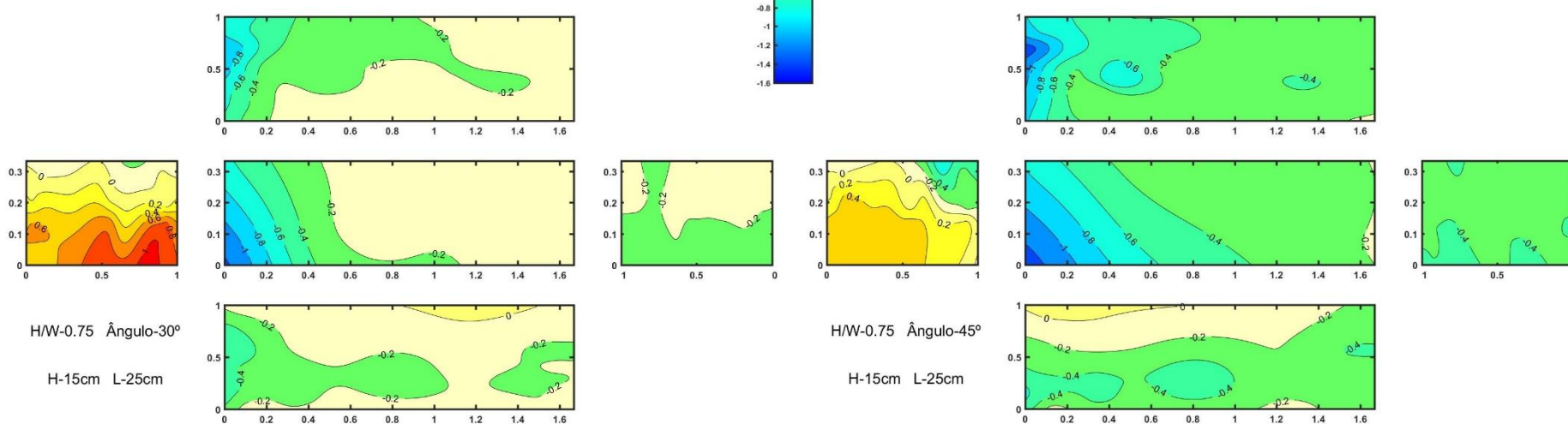


Figura C-67: Ensaio com $H/W=0.75$, $H=15\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e 30°

Figura C-68: Ensaio com $H/W=0.75$, $H=15\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e 45°

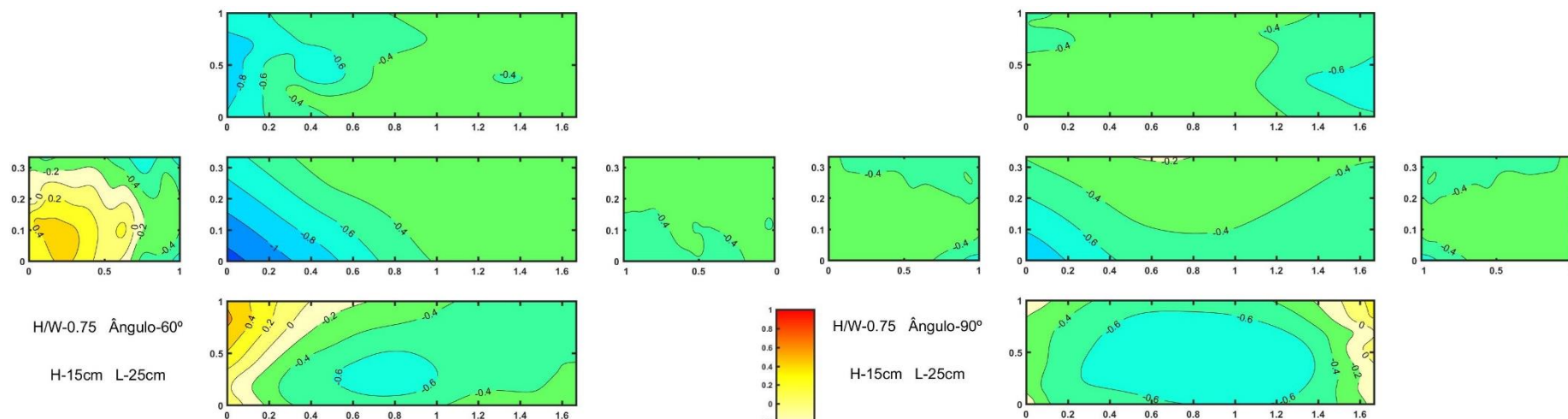


Figura C-69: Ensaio com $H/W=0.75$, $H=15\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\angle 60^\circ$

Figura C-70: Ensaio com $H/W=0.75$, $H=15\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\angle 90^\circ$

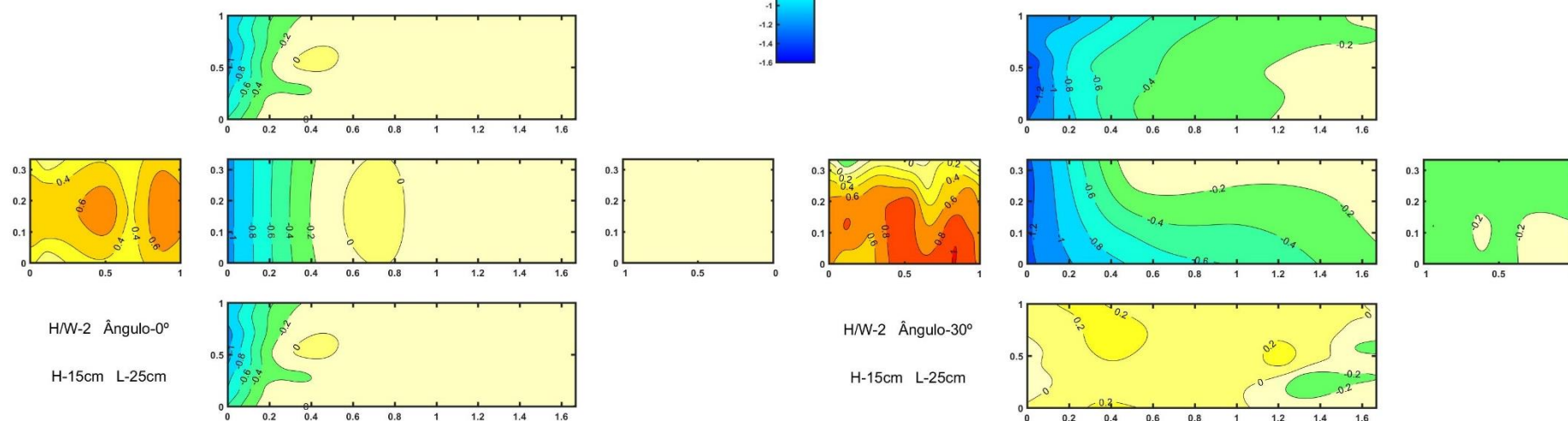


Figura C-71: Ensaio com $H/W=2$, $H=15\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\angle 40^\circ$

Figura C-72: Ensaio com $H/W=2$, $H=15\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\angle 30^\circ$

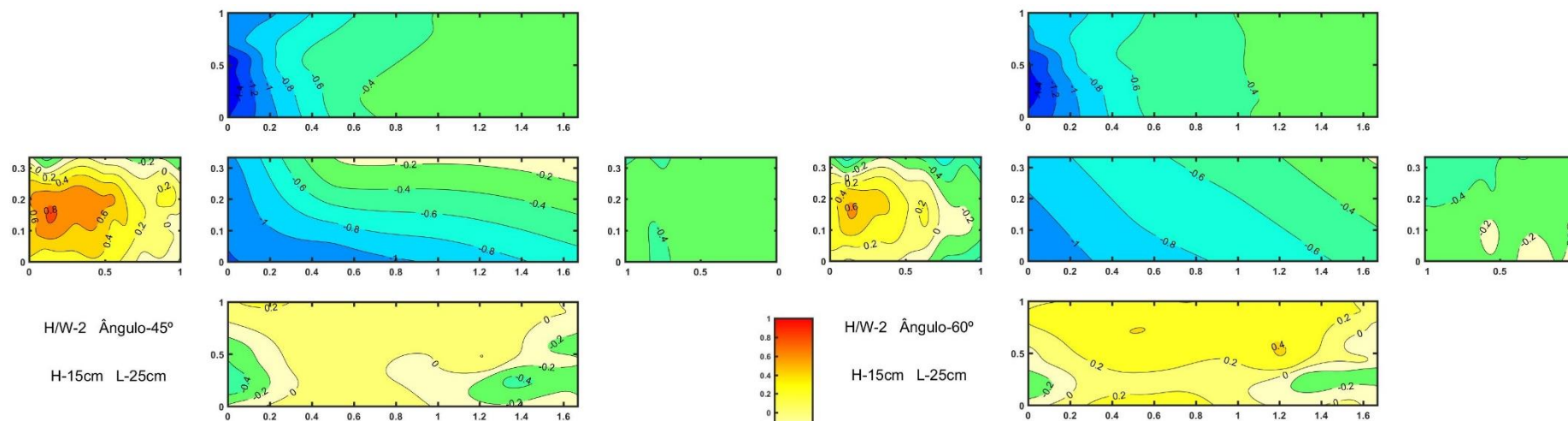

Figura C-73: Ensaio com $H/W=2$, $H=15\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\angle 45^\circ$

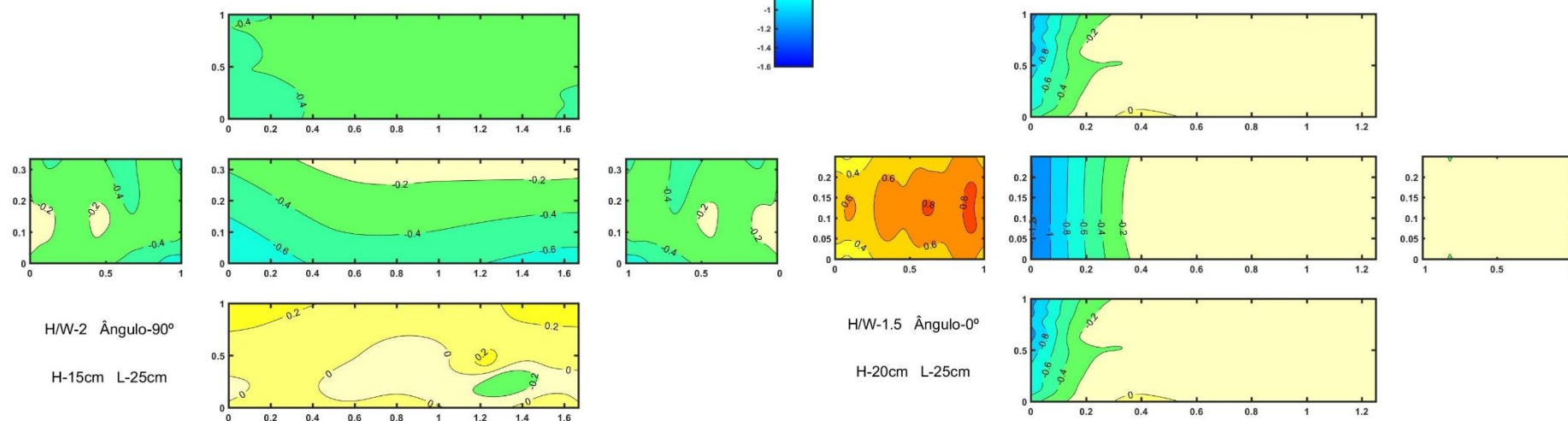
Figura C-74: Ensaio com $H/W=2$, $H=15\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\angle 60^\circ$

Figura C-75: Ensaio com $H/W=2$, $H=15\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\angle 90^\circ$

Figura C-76: Ensaio com $H/W=1.5$, $H=15\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\angle 0^\circ$

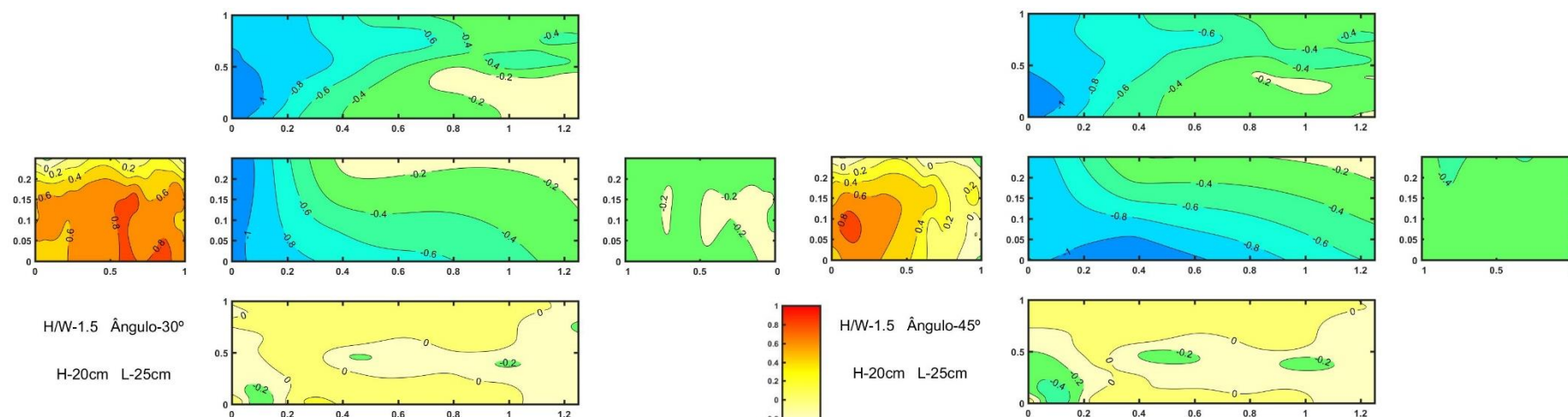


Figura C-77: Ensaio com $H/W=1.5$, $H=15\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 30^\circ$

Figura C-78: Ensaio com $H/W=1.5$, $H=15\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 45^\circ$

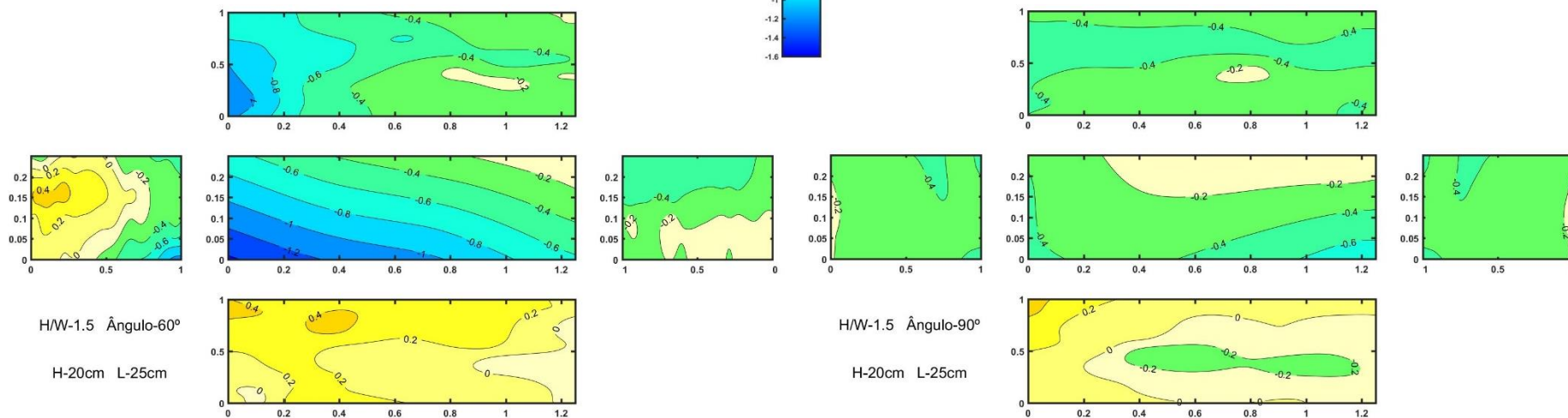


Figura C-79: Ensaio com $H/W=1.5$, $H=15\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 60^\circ$

Figura C-80: Ensaio com $H/W=1.5$, $H=15\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 90^\circ$

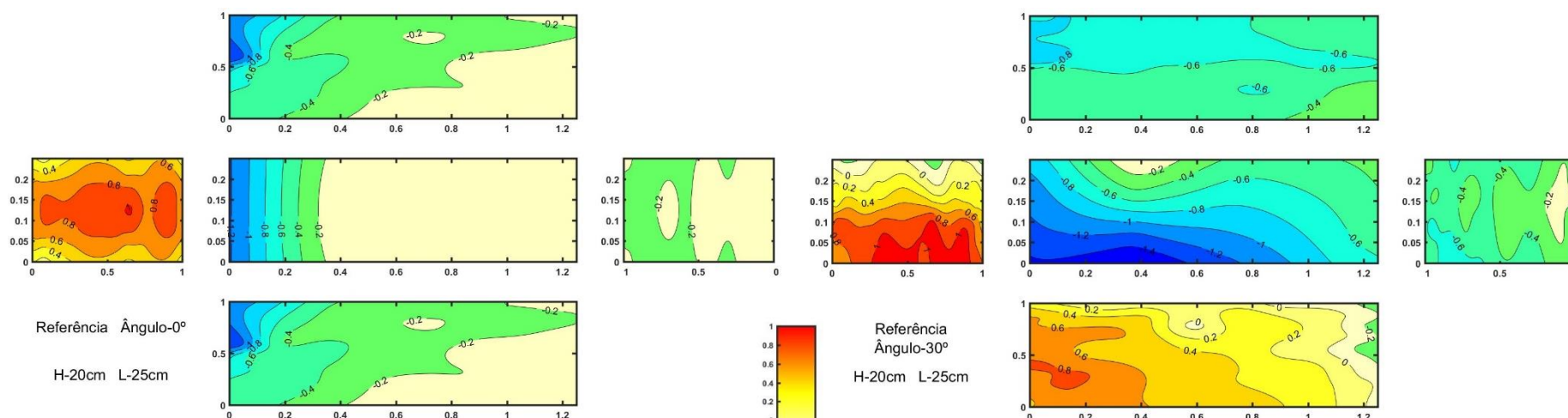


Figura C-81: Ensaio de Referência, $H=20\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\angle 0^\circ$

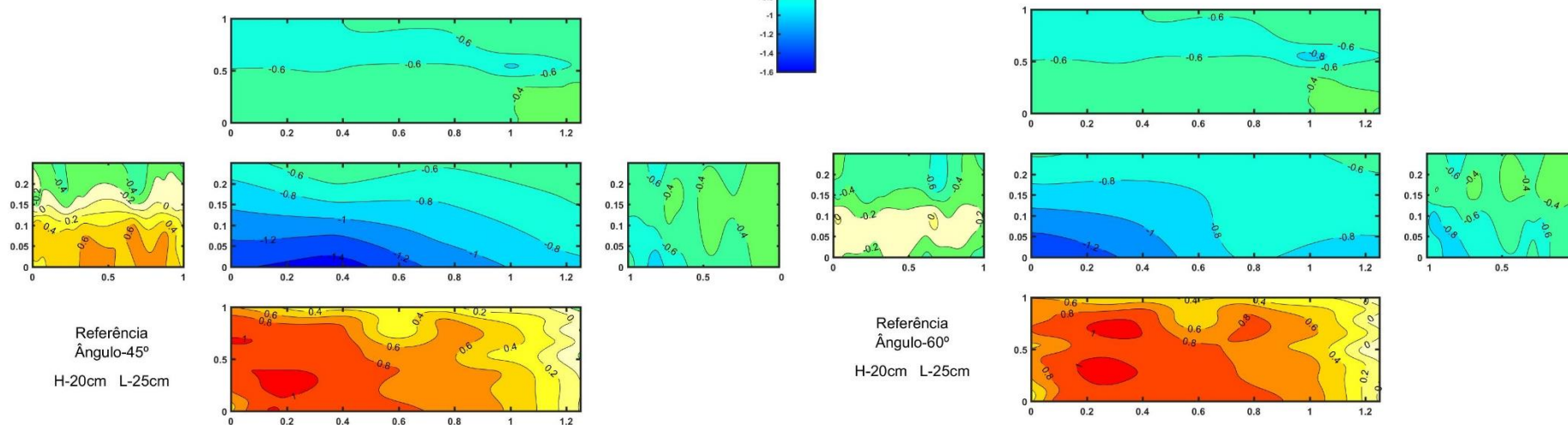


Figura C-83: Ensaio de Referência, $H=20\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\angle 45^\circ$

Figura C-82: Ensaio de Referência, $H=20\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\angle 30^\circ$

Figura C-84: Ensaio de Referência, $H=20\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\angle 60^\circ$

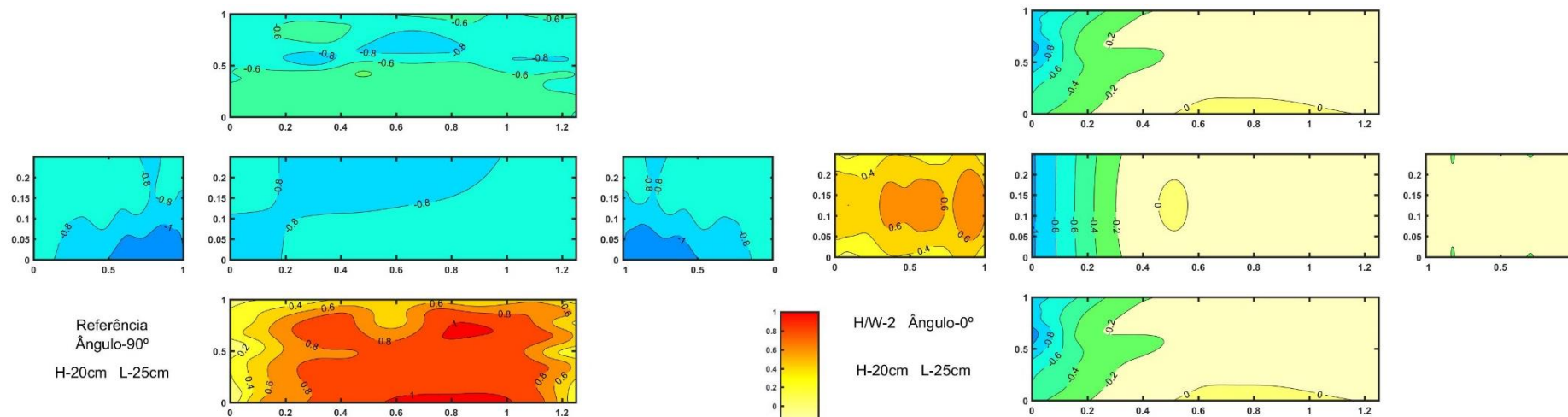


Figura C-85: Ensaio de Referência, $H=20\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\angle 90^\circ$

Figura C-86: Ensaio com $H/W=2$, $H=20\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\angle 0^\circ$

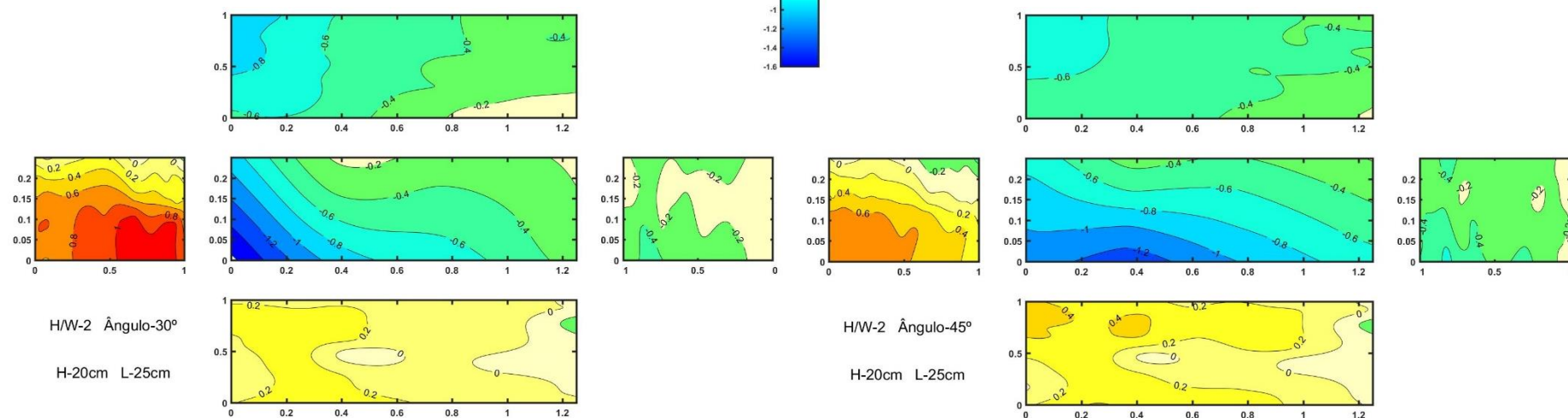


Figura C-87: Ensaio com $H/W=2$, $H=20\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\angle 30^\circ$

Figura C-88: Ensaio com $H/W=2$, $H=20\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\angle 45^\circ$

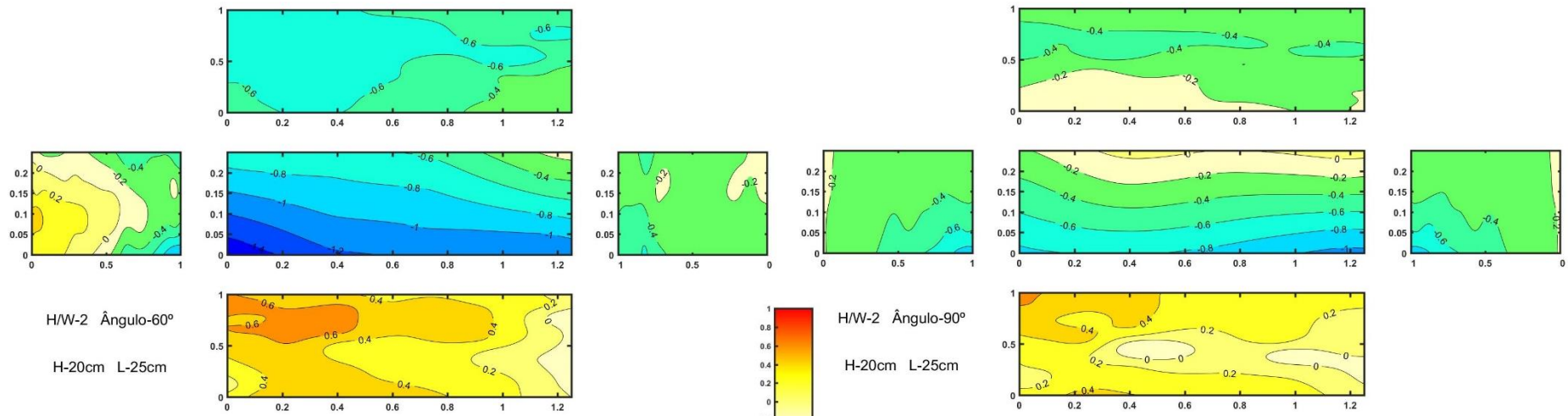


Figura C-89: Ensaio com $H/W=2$, $H=20\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 60^\circ$

Figura C-90: Ensaio com $H/W=2$, $H=20\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 90^\circ$

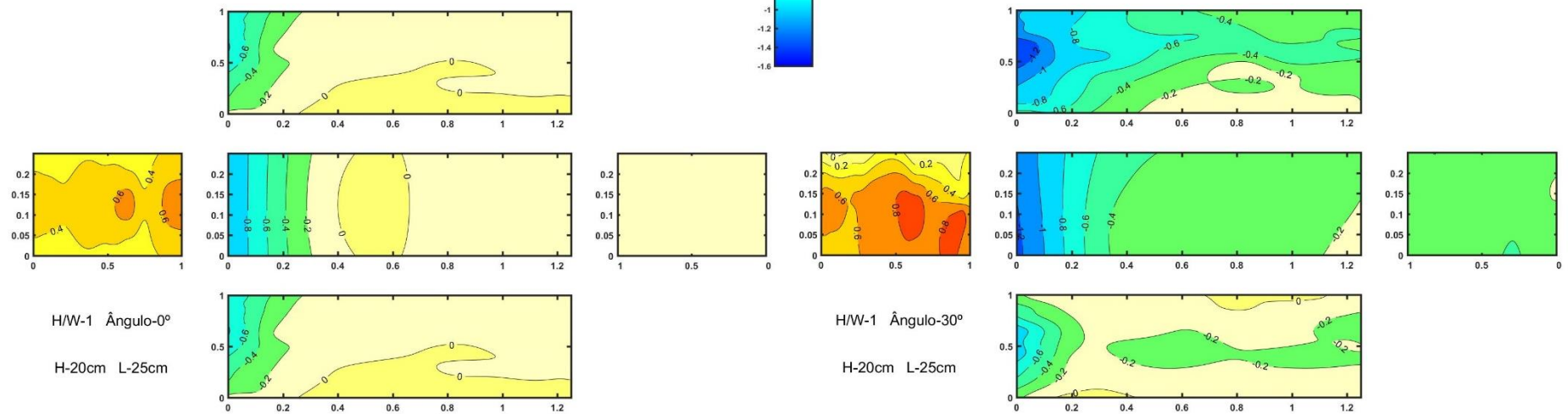


Figura C-91: Ensaio com $H/W=1$, $H=20\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 0^\circ$

Figura C-92: Ensaio com $H/W=1$, $H=20\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha 30^\circ$

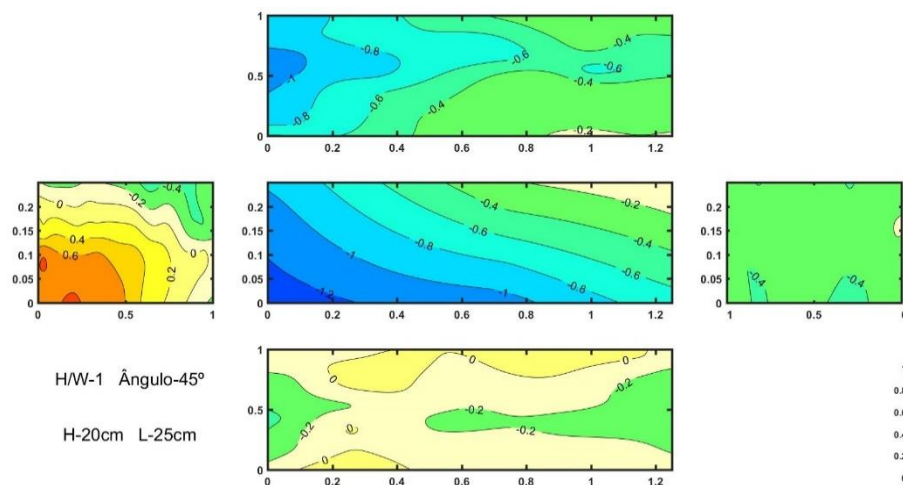


Figura C-93: Ensaio com $H/W=1$, $H=20\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\angle 45^\circ$

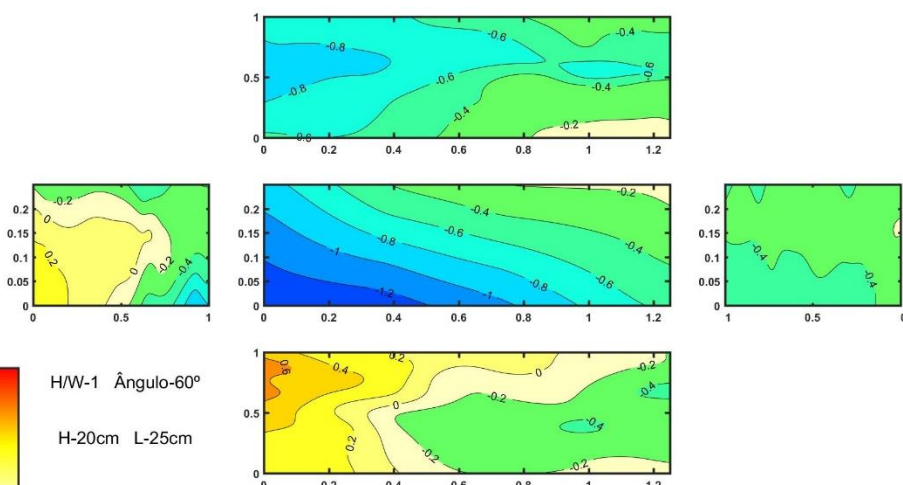


Figura C-94: Ensaio com $H/W=1$, $H=20\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\angle 60^\circ$

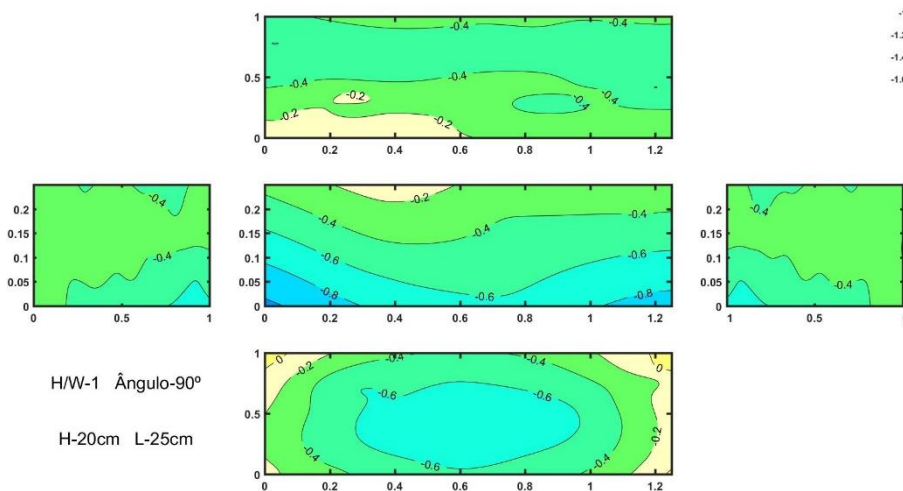


Figura C-95: Ensaio com $H/W=1$, $H=20\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\angle 90^\circ$

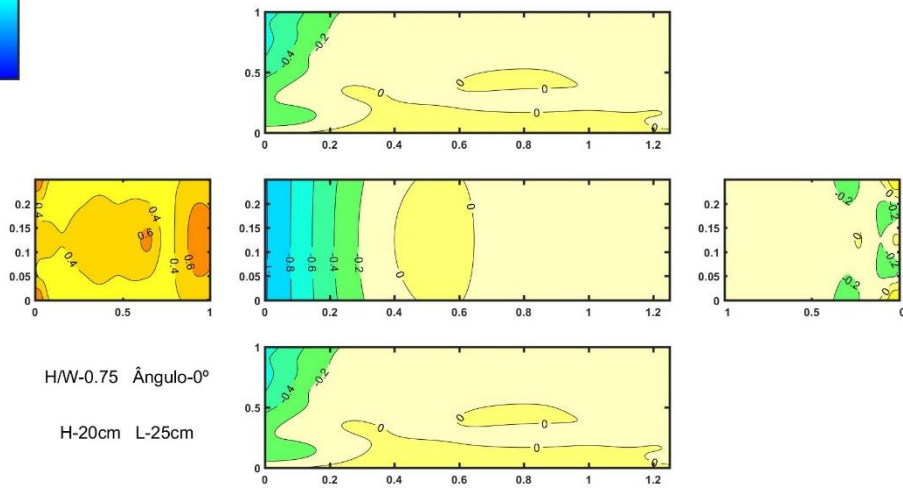


Figura C-96: Ensaio com $H/W=0.75$, $H=20\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\angle 40^\circ$

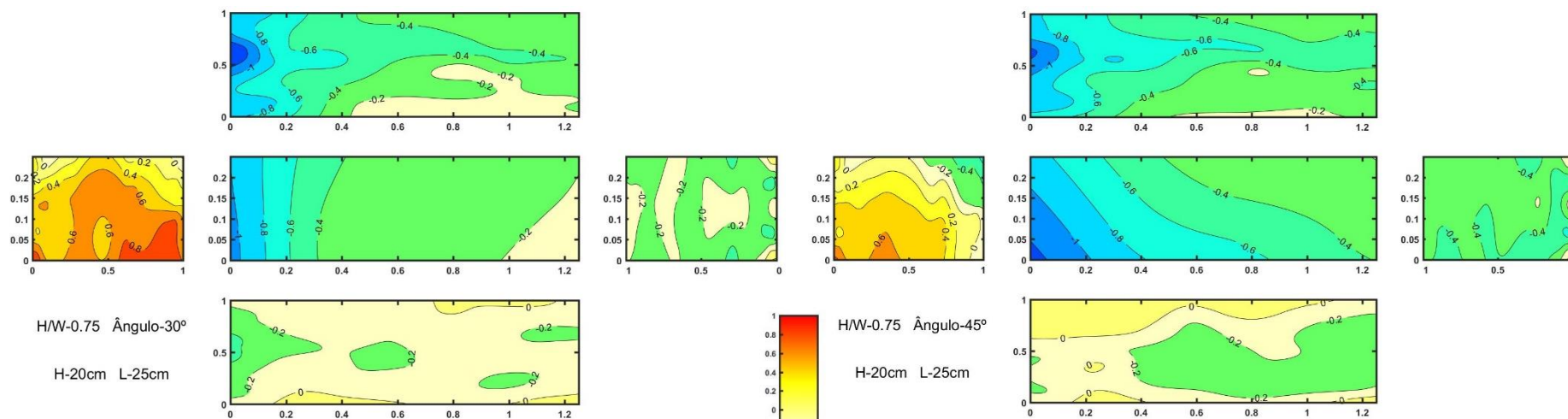


Figura C-97: Ensaio com $H/W=0.75$, $H=20\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha=30^\circ$

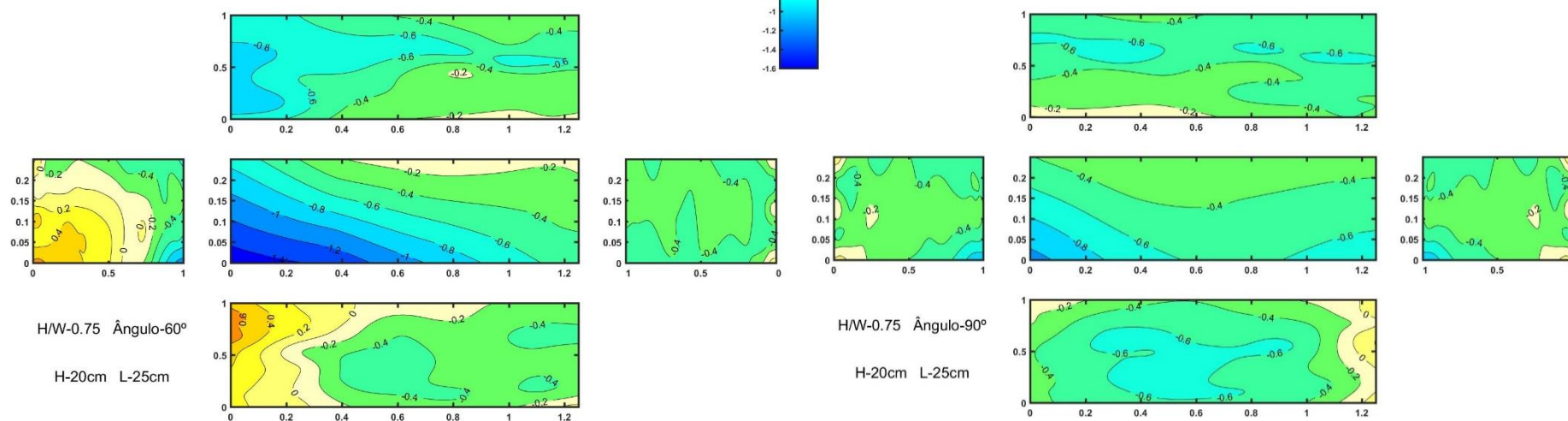


Figura C-99: Ensaio com $H/W=0.75$, $H=20\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha=60^\circ$

Figura C-98: Ensaio com $H/W=0.75$, $H=20\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha=45^\circ$

Figura C-100: Ensaio com $H/W=0.75$, $H=20\text{cm}$, $L=25\text{cm}$ e $\alpha=90^\circ$

Anexo D. Valores Médios de Coeficientes de Pressão segundo a norma NP EN 1991-1-4/2007 - Ações em estruturas

Tabela D-1: Média dos Coeficientes de Pressão para os ensaios com direção do vento de 0°

0°			Barlavento									Sotavento	Cobertura					Lateral 1			Lateral 2		
			A			B			C			A	A			B	C	A	B	C	A	B	C
			1	2	3	1	2	3	1	2	3		1	2	2								
5	25	0.75	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	-0,1	-0,2	-0,2	-0,2	0,0	0,0	-0,2	-0,1	0,0	-0,2	-0,1	0,0
5	25	1	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	-0,1	-0,2	-0,2	-0,2	0,0	0,0	-0,2	-0,1	0,1	-0,2	-0,1	0,1
5	25	1.5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,2	0,3	0,2	-0,1	-0,3	-0,3	-0,3	0,0	0,0	-0,2	-0,1	0,1	-0,2	-0,1	0,1
5	25	2	0,7	0,6	0,7	0,6	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5	-0,1	-0,5	-0,5	-0,5	0,0	0,0	-0,3	-0,1	0,0	-0,3	-0,1	0,0
5	25	REF	0,7	0,9	0,7	0,7	1,0	0,7	0,6	0,9	0,6	-0,1	-0,7	-0,7	-0,7	0,0	-0,1	-0,8	-0,6	-0,1	-0,8	-0,6	-0,1
10	25	0.75	0,3	0,4	0,3	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	-0,1	-0,3	-0,3	-0,3	0,0	0,0	-0,2	-0,1	0,0	-0,2	-0,1	0,0
10	25	1	0,4	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	-0,1	-0,4	-0,4	-0,4	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0
10	25	1.5	0,8	0,8	0,8	0,6	0,6	0,6	0,5	0,6	0,5	-0,2	-0,9	-0,9	-0,9	-0,1	-0,1	-0,5	-0,1	0,0	-0,5	-0,1	0,0
10	25	2	0,4	0,5	0,4	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	-0,1	-0,6	-0,6	-0,6	0,0	0,0	-0,5	-0,2	0,0	-0,5	-0,2	0,0
10	25	REF	0,7	0,8	0,7	0,6	0,8	0,6	0,5	0,8	0,5	-0,3	-0,9	-0,9	-0,9	-0,1	-0,2	-1,1	-0,7	-0,2	-1,1	-0,7	-0,2
15	25	0.75	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,0	-0,5	-0,5	-0,5	0,0	0,0	-0,3	-0,1	0,0	-0,3	-0,1	0,0
15	25	1	0,6	0,6	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,0	-0,7	-0,7	-0,7	-0,1	-0,1	-0,5	-0,2	-0,1	-0,5	-0,2	-0,1
15	25	1.5	0,7	0,7	0,7	0,5	0,6	0,5	0,4	0,6	0,4	-0,1	-0,9	-0,8	-0,9	-0,1	-0,1	-0,7	-0,3	-0,1	-0,7	-0,3	-0,1
15	25	2	0,6	0,7	0,6	0,4	0,5	0,4	0,3	0,5	0,3	-0,1	-0,7	-0,7	-0,7	-0,1	-0,1	-0,8	-0,3	-0,1	-0,8	-0,3	-0,1
15	25	REF	0,7	0,9	0,7	0,6	0,9	0,6	0,5	0,8	0,5	-0,2	-1,0	-1,0	-1,0	-0,2	-0,2	-1,2	-0,6	-0,1	-1,2	-0,6	-0,1
20	25	0.75	0,5	0,6	0,5	0,3	0,5	0,3	0,4	0,4	0,4	-0,1	-0,7	-0,7	-0,7	0,0	-0,1	-0,4	-0,2	0,0	-0,4	-0,2	0,0
20	25	1	0,5	0,6	0,5	0,4	0,5	0,4	0,4	0,5	0,4	-0,1	-0,7	-0,6	-0,7	0,0	0,0	-0,6	-0,3	0,0	-0,6	-0,3	0,0
20	25	1.5	0,7	0,8	0,7	0,6	0,7	0,6	0,4	0,6	0,4	-0,1	-0,8	-0,8	-0,8	-0,1	-0,1	-0,8	-0,4	-0,1	-0,8	-0,4	-0,1
20	25	2	0,5	0,7	0,5	0,5	0,6	0,5	0,4	0,5	0,4	-0,1	-0,7	-0,7	-0,7	-0,1	-0,1	-0,8	-0,5	-0,1	-0,8	-0,5	-0,1

0°			Barlavento									Sotavento	Cobertura					Lateral 1			Lateral 2		
			A			B			C			A	A			B	C	A	B	C	A	B	C
			1	2	3	1	2	3	1	2	3		1	2	2								
20	25	REF	0,6	0,8	0,6	0,6	0,9	0,6	0,5	0,8	0,5	-0,2	-0,8	-0,8	-0,8	-0,1	-0,1	-0,9	-0,6	-0,2	-0,9	-0,6	-0,2
5	50	0.75	0,4	0,3	0,4	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	-0,1	0,1	0,1	-0,1
5	50	1	0,5	0,7	0,5	0,3	0,3	0,3	0,2	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	-0,1
5	50	1.5	0,6	0,6	0,6	0,4	0,4	0,4	0,2	0,2	0,2	0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,1	-0,3	-0,1	-0,1	-0,3	-0,1	-0,1
5	50	2	0,7	0,7	0,7	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0,3	0,0	-0,2	-0,1	-0,2	0,1	-0,1	-0,3	-0,1	0,1	-0,3	-0,1	0,1
5	50	REF	0,6	0,8	0,6	0,6	0,7	0,6	0,4	0,5	0,4	-0,1	-0,4	-0,3	-0,4	0,0	0,0	-0,6	-0,4	0,0	-0,6	-0,4	0,0
10	50	0.75	0,5	0,5	0,5	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,0	-0,2	-0,2	-0,2	0,0	-0,1	-0,2	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0
10	50	1	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,1	-0,1	0,0	0,1
10	50	1.5	0,7	0,7	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	-0,1	-0,5	-0,5	-0,5	0,0	-0,1	-0,5	-0,2	0,0	-0,5	-0,2	0,0
10	50	2	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,5	0,4	-0,1	-0,4	-0,3	-0,4	0,0	-0,1	-0,5	-0,2	0,0	-0,5	-0,2	0,0
10	50	REF	0,7	0,8	0,7	0,7	0,8	0,7	0,6	0,8	0,6	-0,2	-0,5	-0,5	-0,5	-0,1	-0,1	-0,6	-0,3	0,0	-0,6	-0,3	0,0
15	50	0.75	0,4	0,4	0,4	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	-0,1	-0,2	-0,2	-0,2	0,0	-0,1	-0,1	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0
15	50	1	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,0	-0,3	-0,3	-0,3	0,0	-0,1	-0,4	-0,1	0,0	-0,4	-0,1	0,0
15	50	1.5	0,5	0,6	0,5	0,5	0,6	0,5	0,5	0,6	0,5	-0,1	-0,4	-0,4	-0,4	0,0	-0,1	-0,6	-0,2	0,0	-0,6	-0,2	0,0
15	50	2	0,5	0,6	0,5	0,4	0,5	0,4	0,4	0,5	0,4	-0,1	-0,4	-0,3	-0,4	0,0	-0,1	-0,5	-0,2	0,0	-0,5	-0,2	0,0
15	50	REF	0,6	0,8	0,6	0,6	0,8	0,6	0,5	0,8	0,5	-0,2	-0,6	-0,6	-0,6	-0,2	-0,1	-0,9	-0,5	-0,1	-0,9	-0,5	-0,1
20	50	0.75	0,4	0,5	0,4	0,2	0,3	0,2	0,3	0,4	0,3	0,0	-0,2	-0,2	-0,2	0,1	0,1	-0,3	-0,1	0,0	-0,3	-0,1	0,0
20	50	1	0,5	0,6	0,5	0,4	0,5	0,4	0,4	0,5	0,4	0,0	-0,3	-0,3	-0,3	0,0	0,0	-0,4	-0,1	0,0	-0,4	-0,1	0,0
20	50	1.5	0,5	0,6	0,5	0,4	0,5	0,4	0,4	0,6	0,4	-0,1	-0,4	-0,4	-0,4	0,0	0,0	-0,5	-0,3	0,0	-0,5	-0,3	0,0
20	50	2	0,4	0,6	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,6	0,4	-0,1	-0,3	-0,3	-0,3	0,0	0,0	-0,5	-0,3	0,0	-0,5	-0,3	0,0
20	50	REF	0,6	0,7	0,6	0,5	0,7	0,5	0,5	0,7	0,5	-0,2	-0,4	-0,4	-0,4	-0,1	0,0	-0,8	-0,5	-0,1	-0,8	-0,5	-0,1

Tabela D-2: Média dos Coeficientes de Pressão para os ensaios com direção do vento de 30°

30°			Barlavento									Sotavento	Cobertura					Lateral 1			Lateral 2		
H	C	H/W	A			B			C			A	A			B	C	A	B	C	A	B	C
			1	2	3	1	2	3	1	2	3		1	2	2								
5	25	0.75	0,7	0,4	0,3	0,7	0,4	0,3	0,5	0,3	0,1	-0,2	-0,4	-0,3	-0,3	-0,1	0,0	-0,5	-0,3	-0,1	-0,3	-0,2	0,0
5	25	1	0,7	0,5	0,4	0,7	0,4	0,3	0,5	0,3	0,2	-0,2	-0,5	-0,4	-0,3	-0,1	0,0	-0,5	-0,3	-0,1	-0,4	-0,2	0,0
5	25	1.5	0,8	0,5	0,4	0,8	0,5	0,3	0,6	0,4	0,2	-0,2	-0,5	-0,4	-0,3	-0,1	0,0	-0,5	-0,4	-0,1	-0,3	-0,1	0,0
5	25	2	0,9	0,7	0,4	0,8	0,6	0,3	0,8	0,5	0,2	-0,2	-0,7	-0,6	-0,6	-0,2	-0,1	-0,8	-0,5	-0,1	-0,9	-0,6	-0,1
5	25	REF	0,7	0,5	0,1	0,8	0,6	0,1	0,7	0,5	0,0	-0,2	-0,8	-0,7	-0,5	-0,3	-0,2	-0,8	-0,7	-0,4	0,3	0,2	0,1
10	25	0.75	0,2	0,1	0,0	0,1	0,1	-0,1	0,3	0,3	0,1	-0,2	-0,5	-0,6	-0,7	-0,3	-0,2	-0,6	-0,4	-0,2	-0,3	-0,2	-0,2
10	25	1	0,7	0,4	0,1	0,5	0,3	0,0	0,4	0,4	0,2	-0,2	-0,6	-0,6	-0,6	-0,2	-0,2	-0,7	-0,4	-0,2	-0,6	-0,4	-0,2
10	25	1.5	0,6	0,6	0,3	0,5	0,4	0,2	0,7	0,6	0,3	-0,3	-0,9	-0,9	-0,9	-0,3	-0,2	-1,0	-0,7	-0,2	-0,5	-0,2	-0,1
10	25	2	0,6	0,6	0,3	0,5	0,5	0,3	0,5	0,6	0,3	-0,1	-0,6	-0,6	-0,6	-0,1	-0,1	-0,7	-0,6	-0,2	-0,3	-0,1	0,0
10	25	REF	0,9	0,6	0,0	0,9	0,6	0,0	0,7	0,6	0,0	-0,5	-1,1	-1,2	-1,3	-0,9	-0,7	-1,1	-1,1	-0,6	0,6	0,6	0,3
15	25	0.75	0,9	0,5	0,0	0,8	0,4	0,0	0,6	0,4	0,0	-0,2	-0,5	-0,7	-0,9	-0,2	-0,2	-0,7	-0,4	-0,2	-0,4	-0,3	-0,1
15	25	1	0,8	0,6	0,2	0,8	0,5	0,0	0,7	0,6	0,2	-0,2	-0,9	-0,9	-1,0	-0,3	-0,3	-1,1	-0,7	-0,3	-0,5	-0,2	-0,1
15	25	1.5	0,7	0,6	0,2	0,7	0,5	0,1	0,6	0,6	0,3	-0,2	-0,7	-0,7	-0,8	-0,3	-0,2	-0,9	-0,7	-0,2	-0,4	-0,1	0,0
15	25	2	0,9	0,7	0,3	0,9	0,7	0,2	0,6	0,7	0,2	-0,3	-0,9	-0,9	-1,0	-0,4	-0,3	-1,2	-0,9	-0,3	0,0	0,1	0,1
15	25	REF	0,9	0,6	0,2	0,8	0,6	0,2	0,5	0,6	0,1	-0,5	-0,9	-1,1	-1,4	-0,8	-0,6	-1,1	-0,9	-0,5	0,3	0,3	0,2
20	25	0.75	0,9	0,5	0,1	0,7	0,7	0,4	0,6	0,6	0,3	-0,2	-0,8	-0,8	-0,8	-0,3	-0,2	-1,0	-0,8	-0,3	-0,3	-0,2	-0,1
20	25	1	0,8	0,6	0,2	0,7	0,7	0,3	0,6	0,6	0,2	-0,3	-0,9	-0,9	-0,9	-0,4	-0,3	-1,0	-0,9	-0,4	-0,6	-0,3	-0,1
20	25	1.5	0,8	0,7	0,3	0,8	0,7	0,4	0,6	0,7	0,2	-0,2	-0,9	-0,9	-0,9	-0,4	-0,3	-1,0	-0,9	-0,4	-0,1	0,0	0,0
20	25	2	1,1	0,6	0,1	1,0	0,8	0,2	0,8	0,7	0,3	-0,2	-0,7	-1,0	-1,3	-0,5	-0,4	-0,8	-0,7	-0,4	0,2	0,2	0,1
20	25	REF	1,0	0,6	0,1	1,0	0,7	0,0	0,9	0,6	0,0	-0,4	-0,7	-1,0	-1,4	-0,8	-0,7	-0,7	-0,6	-0,6	0,7	0,6	0,3
5	50	0.75	0,6	0,2	0,1	0,3	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	-0,2	0,0	-0,1	-0,2	-0,1	-0,1	-0,2	-0,1	-0,1	-0,2	-0,2	-0,4
5	50	1	0,5	0,5	0,3	0,4	0,2	0,1	0,3	0,1	0,0	-0,2	-0,1	-0,1	-0,2	0,0	-0,1	-0,3	-0,2	-0,1	-0,2	-0,2	-0,4
5	50	1.5	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,3	0,3	0,2	0,1	-0,1	-0,2	-0,1	-0,1	0,0	0,1	-0,4	-0,2	0,0	-0,1	-0,1	-0,1

30°			Barlavento									Sotavento	Cobertura					Lateral 1			Lateral 2		
H	C	H/W	A			B			C			A	A			B	C	A	B	C	A	B	C
			1	2	3	1	2	3	1	2	3		1	2	2								
5	50	2	0,6	0,5	0,4	0,6	0,5	0,3	0,4	0,3	0,2	-0,1	-0,3	-0,2	-0,1	0,0	-0,2	-0,5	-0,3	0,0	0,0	0,0	0,1
5	50	REF	1,0	0,7	0,0	1,1	0,6	0,0	0,8	0,4	-0,1	-0,2	-0,6	-0,6	-0,6	-0,3	-0,2	-1,0	-0,9	-0,3	0,7	0,6	0,2
10	50	0.75	0,4	0,3	0,1	0,1	0,1	-0,1	0,3	0,2	0,1	-0,2	-0,4	-0,4	-0,4	-0,1	-0,2	-0,6	-0,3	-0,2	0,1	0,0	-0,2
10	50	1	0,6	0,3	0,1	0,4	0,2	0,0	0,3	0,2	0,2	-0,1	-0,4	-0,3	-0,3	0,0	-0,2	-0,3	-0,2	-0,2	-0,2	-0,1	-0,1
10	50	1.5	0,3	0,5	0,4	0,3	0,3	0,2	0,4	0,4	0,3	-0,3	-0,5	-0,5	-0,6	-0,1	-0,3	-0,9	-0,5	-0,1	-0,7	-0,5	-0,1
10	50	2	0,5	0,6	0,4	0,4	0,4	0,3	0,5	0,5	0,3	-0,2	-0,5	-0,5	-0,5	-0,1	-0,2	-1,0	-0,7	-0,2	-0,3	-0,2	-0,1
10	50	REF	0,7	0,4	-0,1	0,7	0,3	-0,1	0,5	0,3	-0,2	-0,3	-0,9	-1,0	-1,1	-0,7	-0,2	-1,2	-1,0	-0,4	0,3	0,3	0,1
15	50	0.75	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	-0,3	-0,3	-0,4	-0,6	-0,2	-0,2	-0,5	-0,3	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2
15	50	1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,3	0,2	0,4	0,4	0,2	-0,2	-0,4	-0,4	-0,5	-0,2	-0,2	-0,6	-0,3	-0,2	-0,5	-0,3	-0,1
15	50	1.5	0,6	0,6	0,3	0,5	0,6	0,3	0,6	0,7	0,5	-0,3	-0,5	-0,5	-0,6	-0,1	-0,2	-1,1	-0,6	-0,2	-0,7	-0,6	-0,2
15	50	2	0,8	0,7	0,3	0,7	0,7	0,2	0,7	0,7	0,4	-0,2	-0,6	-0,6	-0,6	-0,2	-0,2	-1,1	-0,8	-0,3	-0,1	-0,1	0,0
15	50	REF	0,6	0,3	-0,2	0,7	0,3	-0,4	0,5	0,2	-0,4	-0,4	-0,9	-1,1	-1,2	-1,1	-0,1	-1,0	-1,1	-0,7	0,8	0,7	0,4
20	50	0.75	0,4	0,1	-0,4	0,3	0,3	0,0	0,4	0,4	0,3	-0,3	-0,6	-0,6	-0,5	-0,2	-0,2	-0,8	-0,5	-0,3	-0,3	-0,2	-0,2
20	50	1	0,6	0,3	-0,1	0,5	0,4	0,2	0,6	0,6	0,4	-0,3	-0,5	-0,5	-0,5	-0,2	-0,1	-0,8	-0,5	-0,3	-0,5	-0,3	-0,1
20	50	1.5	0,8	0,6	0,2	0,7	0,6	0,3	0,7	0,7	0,4	-0,2	-0,5	-0,5	-0,6	-0,2	-0,1	-0,8	-0,6	-0,2	-0,6	-0,4	-0,1
20	50	2	1,0	0,6	0,2	0,8	0,6	0,1	0,8	0,7	0,3	-0,2	-0,3	-0,6	-0,9	-0,3	-0,2	-0,7	-0,6	-0,2	-0,2	-0,1	0,0
20	50	REF	0,6	0,3	-0,2	0,6	0,2	-0,5	0,5	0,2	-0,3	-0,3	-1,1	-1,1	-1,2	-1,0	-0,6	-1,1	-1,1	-0,7	0,8	0,8	0,4

Tabela D-3: Média dos Coeficientes de Pressão para os ensaios com direção do vento de 45°

45°			Barlavento									Sotavento	Cobertura					Lateral 1			Lateral 2		
H	C	H/W	A			B			C			A	A			B	C	A	B	C	A	B	C
			1	2	3	1	2	3	1	2	3		1	2	2								
5	25	0.75	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,0	0,0	-0,3	-0,5	-0,5	-0,5	-0,3	-0,2	-0,5	-0,4	-0,2	-0,1	0,0	0,0
5	25	1	0,1	0,1	0,2	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	-0,3	-0,5	-0,5	-0,5	-0,4	-0,2	-0,6	-0,4	-0,2	-0,2	0,0	0,0
5	25	1.5	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,0	-0,4	-0,5	-0,6	-0,6	-0,4	-0,2	-0,6	-0,5	-0,2	-0,1	0,0	0,0
5	25	2	0,6	0,4	0,3	0,5	0,4	0,4	0,5	0,4	0,3	-0,2	-0,8	-0,7	-0,6	-0,3	-0,1	-0,8	-0,5	-0,2	-0,7	-0,5	-0,1
5	25	REF	0,4	0,2	-0,2	0,4	0,2	-0,2	0,4	0,1	-0,3	-0,3	-0,8	-0,7	-0,6	-0,7	-0,5	-0,8	-0,8	-0,5	0,8	0,6	0,3
10	25	0.75	0,0	-0,1	-0,3	-0,1	0,0	-0,3	0,3	0,2	0,1	-0,4	-0,6	-0,7	-0,8	-0,4	-0,3	-0,7	-0,5	-0,4	-0,1	-0,2	-0,3
10	25	1	0,1	0,0	-0,2	-0,1	-0,1	-0,2	0,3	0,2	0,2	-0,4	-0,5	-0,6	-0,8	-0,3	-0,2	-0,6	-0,4	-0,3	-0,6	-0,4	-0,3
10	25	1.5	0,0	0,3	0,2	-0,1	0,1	0,1	0,3	0,4	0,3	-0,4	-1,0	-0,9	-0,8	-0,4	-0,3	-1,2	-0,9	-0,3	-1,0	-0,6	-0,2
10	25	2	0,4	0,2	-0,1	0,4	0,3	-0,2	0,7	0,5	0,1	-0,2	-0,5	-0,6	-0,7	-0,3	-0,2	-0,7	-0,5	-0,2	-0,5	-0,2	-0,1
10	25	REF	0,4	0,2	-0,2	0,5	0,2	-0,3	0,3	0,2	-0,2	-0,6	-1,1	-1,1	-1,2	-1,0	-0,7	-0,9	-0,9	-0,6	0,9	0,9	0,5
15	25	0.75	0,2	0,0	-0,4	0,5	0,3	-0,2	0,5	0,4	0,1	-0,3	-0,7	-0,8	-1,0	-0,5	-0,3	-0,9	-0,6	-0,4	-0,3	-0,2	-0,3
15	25	1	-0,4	-0,1	-0,1	-0,1	0,3	0,0	0,4	0,5	0,3	-0,4	-0,9	-1,0	-1,2	-0,6	-0,4	-1,2	-0,7	-0,4	-0,6	-0,3	-0,1
15	25	1.5	-0,1	0,0	-0,2	0,2	0,3	-0,1	0,5	0,5	0,2	-0,3	-0,8	-0,8	-0,8	-0,5	-0,4	-1,1	-0,8	-0,4	-0,5	-0,2	0,0
15	25	2	0,0	0,1	-0,1	0,3	0,4	0,0	0,4	0,7	0,1	-0,3	-0,8	-1,0	-1,1	-0,6	-0,5	-1,3	-1,0	-0,4	-0,2	0,0	0,0
15	25	REF	0,4	0,3	-0,2	0,1	0,1	-0,3	0,0	0,1	-0,3	-0,5	-1,0	-1,2	-1,3	-1,0	-0,9	-0,9	-0,8	-0,7	0,8	0,7	0,3
20	25	0.75	0,1	-0,1	-0,4	0,5	0,3	0,0	0,6	0,4	0,1	-0,4	-0,8	-0,9	-1,1	-0,6	-0,4	-1,0	-0,8	-0,4	-0,1	0,0	-0,2
20	25	1	0,0	-0,1	-0,4	0,4	0,2	-0,2	0,8	0,5	-0,1	-0,3	-0,9	-1,1	-1,2	-0,8	-0,5	-0,9	-0,8	-0,5	-0,3	-0,1	-0,1
20	25	1.5	0,0	0,1	0,0	0,3	0,4	0,2	0,7	0,7	0,2	-0,3	-0,8	-0,9	-1,0	-0,7	-0,5	-1,0	-0,9	-0,4	-0,1	-0,1	0,0
20	25	2	0,4	0,1	-0,2	0,6	0,4	-0,1	0,7	0,6	0,1	-0,3	-0,7	-0,9	-1,1	-0,8	-0,6	-0,6	-0,6	-0,5	0,3	0,3	0,2
20	25	REF	0,5	0,2	-0,2	0,6	0,2	-0,4	0,5	0,1	-0,3	-0,4	-0,7	-1,0	-1,3	-0,9	-0,8	-0,6	-0,6	-0,5	0,9	0,9	0,6

45°			Barlavento									Sotavento	Cobertura					Lateral 1			Lateral 2		
H	C	H/W	A			B			C			A	A			B	C	A	B	C	A	B	C
			1	2	3	1	2	3	1	2	3		1	2	2								
5	50	0.75	0,3	-0,1	-0,1	0,0	-0,1	-0,2	-0,1	-0,2	-0,2	-0,3	-0,2	-0,3	-0,4	-0,2	-0,2	-0,5	-0,4	-0,2	-0,2	-0,2	-0,6
5	50	1	0,3	0,2	0,1	0,2	0,0	-0,1	0,1	-0,1	-0,2	-0,2	-0,1	-0,2	-0,3	-0,2	-0,2	-0,4	-0,3	-0,2	-0,3	-0,2	-0,5
5	50	1.5	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,1	-0,1	-0,4	-0,3	-0,1	0,0	0,1	-0,2
5	50	2	0,4	0,3	0,1	0,4	0,3	0,1	0,3	0,1	0,0	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	0,0	-0,2	-0,4	-0,3	-0,1	0,1	0,1	-0,1
5	50	REF	0,8	0,3	-0,4	0,8	0,3	-0,4	0,7	0,2	-0,4	-0,3	-0,9	-0,9	-0,9	-0,7	-0,4	-1,1	-1,1	-0,5	0,8	0,7	0,2
10	50	0.75	0,0	-0,1	-0,4	-0,2	-0,2	-0,6	0,0	0,0	-0,3	-0,4	-0,6	-0,6	-0,7	-0,2	-0,4	-0,8	-0,6	-0,5	0,1	-0,1	-0,5
10	50	1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	0,0	0,1	0,0	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,1	-0,3	-0,5	-0,3	-0,2	0,2	0,1	-0,3
10	50	1.5	0,1	0,2	0,2	0,1	0,3	0,5	0,2	0,4	0,4	-0,5	-0,6	-0,7	-0,7	-0,2	-0,4	-0,9	-0,5	-0,3	-0,5	-0,4	-0,2
10	50	2	-0,1	0,2	0,2	0,0	0,3	0,4	0,1	0,4	0,3	-0,3	-0,6	-0,6	-0,7	-0,3	-0,4	-1,0	-0,7	-0,3	-0,6	-0,4	-0,1
10	50	REF	0,1	0,2	-0,2	0,1	0,0	-0,3	-0,1	0,1	-0,3	-0,3	-1,1	-1,2	-1,3	-1,0	-0,2	-1,3	-1,3	-0,6	0,7	0,7	0,4
15	50	0.75	-0,3	-0,2	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	-0,3	-0,3	-0,6	-0,9	-0,2	-0,3	-0,6	-0,4	-0,2	-0,1	-0,2	-0,3
15	50	1	-0,1	0,0	0,0	0,1	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	-0,3	-0,5	-0,5	-0,6	-0,2	-0,3	-0,7	-0,4	-0,2	-0,3	-0,2	-0,2
15	50	1.5	0,0	0,1	0,0	0,2	0,4	0,4	0,3	0,5	0,4	-0,3	-0,5	-0,6	-0,7	-0,3	-0,4	-0,9	-0,4	-0,2	-0,6	-0,5	-0,1
15	50	2	0,5	0,3	0,0	0,6	0,5	0,2	0,8	0,7	0,2	-0,2	-0,5	-0,6	-0,6	-0,3	-0,3	-0,9	-0,6	-0,2	-0,2	-0,1	0,1
15	50	REF	0,3	0,0	-0,4	0,3	0,0	-0,5	0,1	-0,2	-0,6	-0,5	-0,8	-1,0	-1,2	-1,0	-0,2	-0,8	-0,8	-0,7	0,7	0,8	0,6
20	50	0.75	-0,1	-0,2	-0,5	0,2	0,2	-0,2	0,5	0,3	0,1	-0,3	-0,5	-0,7	-0,9	-0,3	-0,2	-0,8	-0,6	-0,3	0,4	0,3	-0,3
20	50	1	-0,1	-0,1	-0,4	0,3	0,4	0,1	0,6	0,6	0,3	-0,3	-0,5	-0,7	-0,9	-0,3	-0,2	-0,7	-0,5	-0,3	-0,2	-0,1	0,0
20	50	1.5	-0,2	-0,1	-0,2	0,1	0,4	0,2	0,5	0,6	0,4	-0,3	-0,5	-0,6	-0,7	-0,3	-0,2	-0,8	-0,6	-0,3	-0,3	-0,2	0,0
20	50	2	0,3	0,2	-0,2	0,4	0,5	0,2	0,7	0,7	0,5	-0,2	-0,5	-0,6	-0,7	-0,3	-0,2	-0,8	-0,7	-0,3	-0,3	-0,1	0,0

45°			Barlavento									Sotavento	Cobertura					Lateral 1			Lateral 2		
			A			B			C			A	A			B	C	A	B	C	A	B	C
H	C	H/W	1	2	3	1	2	3	1	2	3	A	1	2	2	B	C	A	B	C	A	B	C
20	50	REF	0,3	0,0	-0,3	0,2	-0,1	-0,6	0,1	-0,1	-0,5	-0,4	-0,8	-1,0	-1,2	-1,0	-0,7	-0,8	-0,8	-0,6	0,7	0,8	0,5

Tabela D-4: Média dos Coeficientes de Pressão para os ensaios com direção do vento de 60°

60°			Barlavento									Sotavento	Cobertura				Lateral 1		Lateral 2	
H	C	H/W	A			B			C			A	A			B	A	B	A	B
			1	2	3	1	2	3	1	2	3		1	2	2					
5	25	0.75	0,2	0,0	-0,4	0,1	-0,1	-0,4	0,0	-0,1	-0,4	-0,3	-0,4	-0,3	-0,2	-0,3	-0,4	-0,4	-0,2	-0,1
5	25	1	0,2	0,0	-0,4	0,1	-0,1	-0,4	0,0	-0,1	-0,4	-0,3	-0,4	-0,3	-0,2	-0,3	-0,5	-0,5	-0,2	-0,2
5	25	1.5	0,3	0,0	-0,5	0,2	-0,1	-0,4	0,0	-0,1	-0,5	-0,3	-0,5	-0,3	-0,2	-0,3	-0,5	-0,5	-0,2	-0,2
5	25	2	-0,1	0,0	-0,3	-0,1	0,0	-0,3	-0,2	-0,1	-0,3	-0,4	-0,9	-0,4	-0,4	-0,4	-0,5	-0,5	-0,2	0,0
5	25	REF	0,8	0,5	0,4	0,6	0,3	0,3	0,4	0,1	0,1	-0,5	-0,9	-1,0	-0,6	-0,7	-0,4	-0,4	0,0	-0,3
10	25	0.75	0,1	-0,4	-0,6	-0,1	-0,5	-0,6	-0,2	-0,5	-0,4	-0,5	-0,9	-0,4	-0,3	-0,5	-0,5	-0,5	-0,1	-0,4
10	25	1	0,1	-0,3	-0,5	0,0	-0,4	-0,5	-0,1	-0,4	-0,3	-0,4	-1,0	-0,5	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,2	-0,2
10	25	1.5	-0,5	0,0	-0,1	-0,5	-0,1	-0,2	-0,4	-0,1	-0,2	-0,5	-1,0	-0,4	-0,3	-0,5	-0,5	-0,5	-0,1	0,0
10	25	2	-0,3	-0,1	0,0	-0,5	-0,1	-0,2	-0,4	-0,1	-0,2	-0,4	-0,8	-0,5	-0,3	-0,4	-0,3	-0,3	0,1	-0,1
10	25	REF	0,6	0,4	0,2	0,8	0,6	0,2	0,7	0,6	0,2	-0,5	-1,2	-1,1	-1,0	-0,7	-0,6	-0,6	-0,6	-0,4
15	25	0.75	0,2	-0,3	-0,5	0,0	-0,5	-0,5	-0,3	-0,6	-0,4	-0,4	-0,9	-0,5	-0,3	-0,4	-0,4		-0,1	
15	25	1	0,1	0,0	-0,2	-0,1	-0,2	-0,4	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4	-1,1	-0,5	-0,4	-0,4	-0,5		0,0	
15	25	1.5	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	-0,1	0,0	0,0	-0,1	-0,4	-0,9	-0,6	-0,4	-0,4	-0,4		0,0	
15	25	2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,1	0,0	0,1	-0,1	-0,6	-1,0	-0,7	-0,5	-0,6	-0,3		0,0	
15	25	REF	0,7	0,5	0,2	1,0	0,8	0,3	0,9	0,7	0,1	-0,6	-1,0	-0,8	-0,8	-0,8	-0,6		-0,4	
20	25	0.75	0,4	-0,1	-0,3	0,2	-0,3	-0,4	0,1	-0,4	-0,3	-0,5	-1,2	-0,8	-0,5	-0,4	-0,4		-0,1	
20	25	1	0,5	0,1	-0,1	0,4	-0,1	-0,3	0,3	-0,2	-0,3	-0,6	-1,2	-0,9	-0,5	-0,5	-0,4		-0,1	
20	25	1.5	0,4	0,3	0,2	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,0	-0,5	-1,1	-0,9	-0,6	-0,5	-0,3		-0,1	
20	25	2	0,6	0,5	0,2	0,6	0,4	0,1	0,4	0,4	0,1	-0,6	-1,2	-1,0	-1,0	-0,7	-0,3		-0,1	
20	25	REF	0,7	0,6	0,3	0,9	0,8	0,4	0,9	0,9	0,4	-0,6	-1,1	-0,9	-0,8	-0,7	-0,5		-0,3	
5	50	0.75	-0,4	-0,8	-0,8	-0,3	-0,8	-0,7	-0,1	-0,7	-0,5	-0,4	-0,8	-0,5	-0,3	-0,4	-0,5	-0,4	-0,5	-0,4
5	50	1	0,0	-0,6	-0,5	-0,1	-0,7	-0,5	-0,3	-0,7	-0,5	-0,2	-0,8	-0,4	-0,3	-0,3	-0,3	-0,2	0,0	-0,2
5	50	1.5	0,0	-0,6	-0,3	0,0	-0,6	-0,4	0,0	-0,5	-0,4	-0,2	-0,5	-0,2	-0,2	-0,2	-0,4	-0,2	-0,2	-0,2

60°			Barlavento									Sotavento	Cobertura				Lateral 1		Lateral 2	
H	C	H/W	A			B			C			A	A			B	A	B	A	B
			1	2	3	1	2	3	1	2	3		1	2	2					
5	50	2	0,3	-0,2	-0,2	0,3	-0,2	-0,2	0,3	-0,2	-0,2	-0,2	-0,5	-0,3	-0,4	-0,3	-0,2	-0,2	-0,1	-0,1
5	50	REF	1,0	0,7	0,3	0,7	0,4	0,1	0,4	0,2	-0,1	-0,6	-1,2	-0,7	-0,3	-0,8	-0,5	-0,3	0,0	-0,4
10	50	0.75	0,1	-0,8	-0,6	-0,2	-0,8	-0,5	-0,5	-0,7	-0,5	-0,5	-1,0	-0,5	-0,7	-0,5	-0,5	-0,3	-0,3	-0,5
10	50	1	0,5	-0,6	-0,5	0,1	-0,6	-0,4	-0,1	-0,5	-0,5	-0,3	-1,0	-0,4	-0,5	-0,4	-0,4	-0,5	-0,3	-0,3
10	50	1.5	0,3	-0,2	-0,5	0,2	-0,4	-0,5	0,0	-0,3	-0,5	-0,5	-1,2	-0,8	-0,8	-0,7	-0,5	-0,6	-0,1	-0,2
10	50	2	0,2	0,2	-0,3	0,3	0,1	-0,3	0,1	0,1	-0,2	-0,4	-1,0	-0,6	-0,7	-0,5	-0,5	-0,6	0,0	0,2
10	50	REF	0,7	0,5	0,4	0,9	0,7	0,3	0,8	0,7	0,3	-0,7	-1,2	-0,7	-0,5	-0,8	-0,4	-0,4	-0,7	-0,7
15	50	0.75	0,1	-0,4	-0,4	-0,1	-0,5	-0,4	-0,3	-0,4	-0,4	-0,3	-1,0	-0,5	-0,5	-0,4	-0,3		-0,2	
15	50	1	0,1	-0,2	-0,4	-0,1	-0,3	-0,4	-0,1	-0,2	-0,3	-0,3	-1,0	-0,6	-0,6	-0,4	-0,4		-0,1	
15	50	1.5	0,4	0,3	-0,2	0,4	0,0	-0,3	0,2	0,0	-0,4	-0,4	-1,1	-0,7	-0,7	-0,5	-0,6		0,1	
15	50	2	0,5	0,3	-0,2	0,5	0,2	-0,2	0,5	0,2	-0,4	-0,3	-0,9	-0,6	-0,6	-0,4	-0,4		0,0	
15	50	REF	1,0	0,8	0,5	0,9	0,9	0,6	0,7	0,8	0,6	-0,5	-0,9	-0,7	-0,4	-0,5	-0,5		-0,4	
20	50	0.75	0,1	-0,6	-0,5	-0,2	-0,6	-0,5	-0,4	-0,6	-0,4	-0,5	-0,9	-0,4	-0,3	-0,5	-0,3		-0,1	
20	50	1	0,5	0,0	-0,4	0,3	-0,2	-0,4	0,0	-0,2	-0,3	-0,5	-0,8	-0,3	-0,2	-0,4	-0,4		0,1	
20	50	1.5	0,4	0,2	-0,1	0,3	0,1	-0,2	0,2	0,0	-0,1	-0,4	-0,7	-0,3	-0,2	-0,3	-0,4		0,0	
20	50	2	0,6	0,4	0,1	0,6	0,3	0,0	0,5	0,3	0,0	-0,3	-0,7	-0,4	-0,3	-0,3	-0,3		0,0	
20	50	REF	0,8	0,6	0,5	0,9	0,9	0,5	0,8	0,8	0,5	-0,5	-0,9	-0,8	-0,6	-0,5	-0,4		-0,5	

Tabela D-5: Média dos Coeficientes de Pressão para os ensaios com direção do vento de 90°

90°			Barlavento									Sotavento	Cobertura				Lateral 1		Lateral 2	
H	C	H/W	A			B			C			A	A			B	A	B	A	B
			1	2	3	1	2	3	1	2	3		1	2	2					
5	25	0.75	-0,1	-0,2	0,1	-0,1	-0,2	0,1	-0,2	-0,2	-0,1	-0,3	-0,4	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3
5	25	1	-0,1	-0,2	0,1	-0,1	-0,2	0,1	-0,2	-0,2	-0,1	-0,3	-0,5	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4	-0,3	-0,4
5	25	1.5	0,1	-0,2	0,1	-0,1	-0,3	0,1	-0,2	-0,3	-0,1	-0,3	-0,5	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4	-0,3	-0,4
5	25	2	-0,2	-0,4	0,1	-0,3	-0,5	0,0	-0,3	-0,5	-0,1	-0,2	-0,7	-0,4	-0,4	-0,2	-0,3	-0,2	-0,3	-0,2
5	25	REF	0,9	0,8	0,9	0,5	0,6	0,7	0,1	0,3	0,4	-0,5	-1,4	-1,2	-1,1	-0,8	-0,9	-0,6	-0,9	-0,6
10	25	0.75	-0,6	-0,7	-0,2	-0,6	-0,7	-0,3	-0,5	-0,7	-0,4	-0,5	-1,0	-0,5	-0,5	-0,6	-0,4	-0,6	-0,4	-0,6
10	25	1	-0,4	-0,7	-0,2	-0,5	-0,7	-0,4	-0,5	-0,7	-0,4	-0,3	-0,7	-0,5	-0,6	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3
10	25	1.5	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,1	-0,2	-0,2	-0,5	-0,8	-0,5	-0,5	-0,5	-0,4	-0,5	-0,4	-0,5
10	25	2	0,1	-0,1	0,1	0,0	-0,1	-0,1	0,0	-0,1	0,0	-0,3	-0,5	-0,3	-0,4	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3
10	25	REF	0,5	0,6	0,5	0,6	0,7	0,4	0,5	0,6	0,4	-0,4	-0,8	-0,7	-0,8	-0,7	-0,7	-0,6	-0,7	-0,6
15	25	0.75	-0,4	-0,6	-0,1	-0,5	-0,7	-0,3	-0,5	-0,7	-0,4	-0,4	-0,7	-0,4	-0,5	-0,3	-0,4		-0,4	
15	25	1	-0,1	-0,5	-0,3	-0,2	-0,6	-0,4	-0,3	-0,6	-0,4	-0,3	-0,5	-0,4	-0,6	-0,3	-0,3		-0,3	
15	25	1.5	0,2	0,0	0,2	0,0	-0,1	0,0	0,0	-0,2	-0,1	-0,4	-0,4	-0,3	-0,4	-0,3	-0,3		-0,3	
15	25	2	0,2	0,1	0,3	0,1	0,0	0,1	0,1	-0,1	-0,1	-0,3	-0,6	-0,4	-0,5	-0,3	-0,3		-0,3	
15	25	REF	0,5	0,7	0,5	0,7	0,8	0,6	0,5	0,7	0,3	-0,6	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8		-0,8	
20	25	0.75	-0,3	-0,4	-0,2	-0,5	-0,6	-0,2	-0,5	-0,6	-0,3	-0,4	-0,8	-0,5	-0,6	-0,4	-0,4		-0,4	
20	25	1	-0,2	-0,5	-0,2	-0,4	-0,7	-0,4	-0,4	-0,6	-0,3	-0,4	-0,7	-0,6	-0,7	-0,4	-0,4		-0,4	
20	25	1.5	0,3	0,1	0,0	0,1	-0,1	-0,1	0,1	-0,1	-0,2	-0,4	-0,4	-0,3	-0,5	-0,2	-0,3		-0,3	
20	25	2	0,5	0,4	0,3	0,4	0,2	0,1	0,3	0,2	0,1	-0,3	-0,6	-0,6	-0,8	-0,2	-0,4		-0,4	
20	25	REF	0,4	0,7	0,7	0,6	0,9	0,8	0,6	0,9	0,8	-0,6	-0,8	-0,7	-0,7	-0,8	-0,8		-0,8	
5	50	0.75	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,9	-0,8	-0,7	-0,9	-0,7	-0,4	-1,0	-0,7	-0,4	-0,5	-0,6	-0,4	-0,6	-0,4
5	50	1	-0,7	-0,9	-0,7	-0,7	-0,9	-0,7	-0,8	-0,9	-0,7	-0,3	-0,6	-0,5	-0,4	-0,4	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3
5	50	1.5	-0,4	-0,6	-0,2	-0,4	-0,6	-0,2	-0,4	-0,6	-0,3	-0,2	-0,8	-0,3	-0,3	-0,2	-0,5	-0,2	-0,5	-0,2

90°			Barlavento									Sotavento	Cobertura				Lateral 1		Lateral 2	
H	C	H/W	A			B			C			A	A			B	A	B	A	B
			1	2	3	1	2	3	1	2	3		1	2	2					
5	50	2	-0,2	-0,4	0,0	-0,2	-0,4	-0,1	-0,1	-0,3	-0,2	-0,2	-0,7	-0,4	-0,4	-0,3	-0,4	-0,2	-0,4	-0,2
5	50	REF	0,7	0,5	0,6	0,4	0,3	0,4	0,1	0,1	0,2	-0,5	-1,4	-1,0	-0,9	-0,7	-0,8	-0,6	-0,8	-0,6
10	50	0.75	-0,8	-0,9	-0,7	-0,8	-0,9	-0,8	-0,9	-0,9	-0,8	-0,5	-0,8	-0,7	-0,9	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6
10	50	1	-0,4	-0,8	-0,5	-0,6	-0,8	-0,6	-0,6	-0,7	-0,7	-0,3	-0,7	-0,6	-0,7	-0,5	-0,5	-0,4	-0,5	-0,4
10	50	1.5	-0,4	-0,8	-0,3	-0,5	-0,8	-0,5	-0,6	-0,8	-0,4	-0,4	-1,1	-0,9	-1,1	-0,7	-0,7	-0,6	-0,7	-0,6
10	50	2	-0,3	-0,5	-0,2	-0,3	-0,6	-0,3	-0,3	-0,5	-0,3	-0,4	-0,8	-0,8	-0,9	-0,5	-0,5	-0,6	-0,5	-0,6
10	50	REF	0,6	0,6	0,5	0,7	0,7	0,5	0,5	0,7	0,5	-0,5	-0,8	-0,6	-0,6	-0,6	-0,8	-0,7	-0,8	-0,7
15	50	0.75	-0,6	-0,8	-0,6	-0,7	-0,8	-0,8	-0,7	-0,8	-0,8	-0,4	-0,6	-0,6	-0,7	-0,5	-0,5		-0,5	
15	50	1	-0,3	-0,6	-0,3	-0,4	-0,7	-0,5	-0,4	-0,6	-0,5	-0,3	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,4		-0,4	
15	50	1.5	-0,1	-0,6	-0,2	-0,2	-0,7	-0,5	-0,2	-0,6	-0,4	-0,4	-0,8	-0,8	-0,8	-0,5	-0,5		-0,5	
15	50	2	-0,1	-0,3	0,1	-0,2	-0,3	-0,1	-0,1	-0,3	-0,1	-0,2	-0,6	-0,7	-0,8	-0,3	-0,3		-0,3	
15	50	REF	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	1,0	0,4	0,8	0,9	-0,6	-0,7	-0,6	-0,6	-0,6	-0,8		-0,8	
20	50	0.75	-0,7	-0,8	-0,3	-0,8	-0,8	-0,6	-0,7	-0,8	-0,7	-0,6	-0,7	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6		-0,6	
20	50	1	-0,4	-0,6	-0,3	-0,6	-0,7	-0,4	-0,6	-0,7	-0,4	-0,4	-0,6	-0,4	-0,4	-0,3	-0,4		-0,4	
20	50	1.5	-0,1	-0,4	-0,3	-0,3	-0,5	-0,3	-0,3	-0,4	-0,2	-0,3	-0,4	-0,2	-0,3	-0,1	-0,3		-0,3	
20	50	2	-0,1	-0,2	-0,2	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,1	-0,2	-0,5	-0,2	-0,3	0,0	-0,4		-0,4	
20	50	REF	0,6	0,7	0,8	0,6	0,9	0,9	0,4	0,8	0,8	-0,6	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7		-0,7	

